



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Grado Electrónica Industrial y Automática

TRABAJO FIN DE GRADO

**ANÁLISIS DE LA CORRECCIÓN
DE LAS CURVAS
CARACTERÍSTICAS I-V DE
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

Autor: Roberto Ruiz Ortega

Profesor: Vicente Salas Merino

Fecha: Julio 2013



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Objetivo	5
2	Introducción	5
3	Antecedentes	6
4	Energía solar y sus variantes	7
4.1	Radiación solar e Irradiancia.	7
4.2	Efecto Fotovoltaico	7
4.3	Descripción general de una instalación fotovoltaica.	8
5	Tecnologías y tipos de células y módulos fotovoltaicos.....	11
5.1	Tipos de células	11
5.2	Tipos de paneles en función de la forma	12
5.3	Estructura del módulo fotovoltaico	13
5.4	Nuevas tecnologías de módulos de lámina delgada	14
5.4.1	Módulos de silicio amorfo hidrogenado (a:Si:H)	14
5.4.2	Módulos de telururo de cadmio	14
5.4.3	Módulos de CIGS	15
6	Instalaciones fotovoltaicas: Sistemas aislados y sistemas conectados a red ...	16
7	Métodos de medida y caracterización de módulos	17
8	Procedimientos de traslación de curvas	18
9	Resultados experimentales.....	26
9.1	Módulos A y B	27
9.2	Módulos C y D	33
9.3	Módulos E y F	39
9.4	Módulos G y H	45
9.5	Módulos I y J	51
10	Conclusión	57
11	BIBLIOGRAFIA	58
	ANEXO I: ESPECIFICACIONES	59
	ANEXO II: NORMATIVA	66



1 Objetivo

El objetivo del proyecto consiste en comprobar el rendimiento de los módulos fotovoltaicos en función de los componentes que lo forman. Para el estudio del rendimiento se estudiarán los módulos en función de sus curvas características en condiciones estándares ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W/m}^2$, $\text{AM} = 1,5$) de laboratorio. Este estudio se hace en condiciones de climatología idóneas, es decir, cuando los días son totalmente soleados.

El control de instalaciones fotovoltaicas de modo eficiente exige un conocimiento preciso de las características I-V y P-V de los módulos fotovoltaicos. Estas curvas permiten situar el punto de máxima transferencia de potencia (**P_{pmp}**) del módulo fotovoltaico. Para la toma de muestras de intensidad y tensión, se utiliza un trazador de curvas con carga electrónica, el cual va tomando muestras cada un cierto periodo de tiempo.

El método empleado en nuestro proyecto nos permite obtener de manera rápida y fiable los valores que caracterizan un módulo solar, como son, los valores de ISC, VOC y PMM, que posteriormente emplearemos para comprobar si los datos obtenidos son coherentes con las características ofrecidas por el fabricante de los módulos, o si el módulo fotovoltaico tuviera algún tipo de fallo.

2 Introducción

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica constituyen la energía que más desarrollo ha experimentado en los últimos años, integrándose en el conjunto de generadores eléctricos que constituyen la Red Eléctrica Española. Debido a la conciencia medioambiental, que cada día se va incorporando mas a nuestra sociedad, este sistema de energía seguirá creciendo en el futuro.

Los sistemas fotovoltaicos necesitan una gran superficie de terreno, lo que requiere un gran desarrollo de métodos de ingeniería que permitan evaluar sus características y rendimientos en el conjunto del sistema eléctrico.

La energía solar tiene grandes ventajas en la sociedad y en el medioambiente, ya que reduce las emisiones de CO_2 en la atmosfera al sustituir a los combustibles fósiles, y se trata de una fuente inagotable de energía debido a que su fuente es el Sol. Además, es una buena solución, a forma individual, para aquellos lugares en los que aun no llega la energía eléctrica.

Pero como todo sistema también tiene sus inconvenientes, como una gran inversión inicial, una producción que no es cte., debido a que depende de la climatología y es difícil de almacenar.

3 Antecedentes

El punto de partida para el desarrollo de energías renovables en nuestro país se produjo con la promulgación de la ley 82/1980, sobre conservación de energía, debido a la segunda crisis internacional del petróleo. Desde entonces se han ido produciendo abundantes normas que han consolidado la implantación de estas fuentes de energía, dando confianza a inversores y fabricantes de equipos para el desarrollo y producción de estos sistemas. La ley 54/1997, del Sector Eléctrico, liberalizó el sector de la energía en España, y fijó como objetivo para 2010 de que el 12% del consumo energético fuese a partir de las energías renovables.

En 2005 se aprobó un nuevo Plan de Energías Renovables y un Plan de Acción para la mejora de la eficiencia energética con la intención de que aumentase la velocidad de implantación y demanda de estas fuentes de energía. Desde 2005, la aportación de energías renovables no ha dejado de crecer, gracias a un marco regulatorio que ha dado estabilidad a su desarrollo.

Una de las claves que dio éxito en España en el ámbito de las energías renovables, es la dependencia de recursos externos para conseguir energía, que ronda el 80%.

España tomó medidas para la introducción de energías renovables. Una fue el apoyo al precio de venta de esta energía, bien mediante el cobro de una tarifa plana o bien mediante una prima para las instalaciones que opten por esta forma de venta. Este sistema es prácticamente el mismo que el de otros países europeos como Alemania o Dinamarca.

Otra medida que adoptó el gobierno de España fue la obligación de implantar el uso de biocarburantes en el transporte. Esta medida, que fue implementada en 2008 (Ley de Hidrocarburos del 2007), obliga a que todas las compañías de hidrocarburos, tuviesen en biocarburantes un porcentaje mínimo de sus ventas.

En 2009 entra en vigor una nueva Directiva relativa al fomento de uso de energía renovable, que establece objetivos para España que coinciden con la Unión Europea (un 20% de consumo en energías renovables para 2020 y un 10% en biocarburantes) e insiste en la integración de estas energías en sectores como la edificación y urbanismo.

4 Energía solar y sus variantes

4.1 Radiación solar e Irradiancia.

Radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol es una estrella en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear, que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la radiación solar. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m^2 (vatio por metro cuadrado).

La **irradiancia** es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En unidades del sistema internacional se mide en W/m^2 .

En electromagnetismo se define la irradiancia como el valor de la intensidad energética promedio de una onda electromagnética en un punto dado y se calcula como el valor promedio del vector de Poynting.

La irradiancia sirve de base para la definición de magnitudes físicas similares, entre las que la radiancia (energía emitida por unidad de superficie y por unidad de ángulo sólido) es la más utilizada.

4.2 Efecto Fotovoltaico

El efecto fotovoltaico (FV) es la base del proceso mediante el cual una célula FV convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula FV, pueden ser reflejados o absorbidos, o pueden pasar a su través. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad. Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

Las partes más importantes de la célula solar son las capas de semiconductores, ya que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentemente dopadas (tipo p y tipo n) para formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en la otra. Cuando la luz solar incide en la célula se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica.

Los semiconductores de las células solares están formados por una malla metálica superior u otro tipo de contacto para recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa y un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. También en la parte superior de la célula hay un vidrio u otro tipo de material encapsulante transparente para sellar la energía y protegerla de las condiciones ambientales, y una capa antireflexiva para aumentar el número de fotones absorbidos.

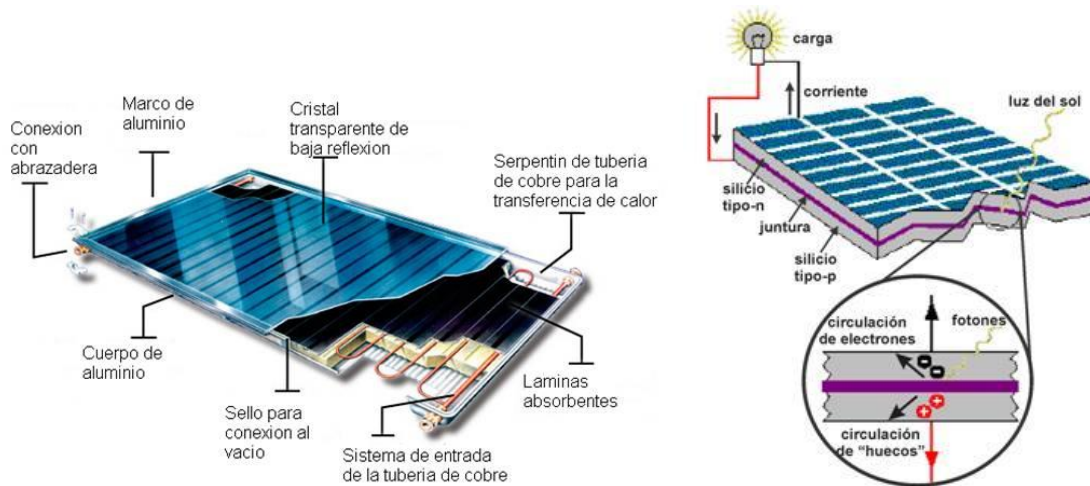


Figura 1.- Elementos que componen una célula y comportamiento eléctrico.

4.3 Descripción general de una instalación fotovoltaica.

La instalación fotovoltaica conectada a red tiene dos componentes fundamentales, el generador fotovoltaico y el inversor. Otros elementos son la estructura soporte, las protecciones, los contadores y la monitorización.

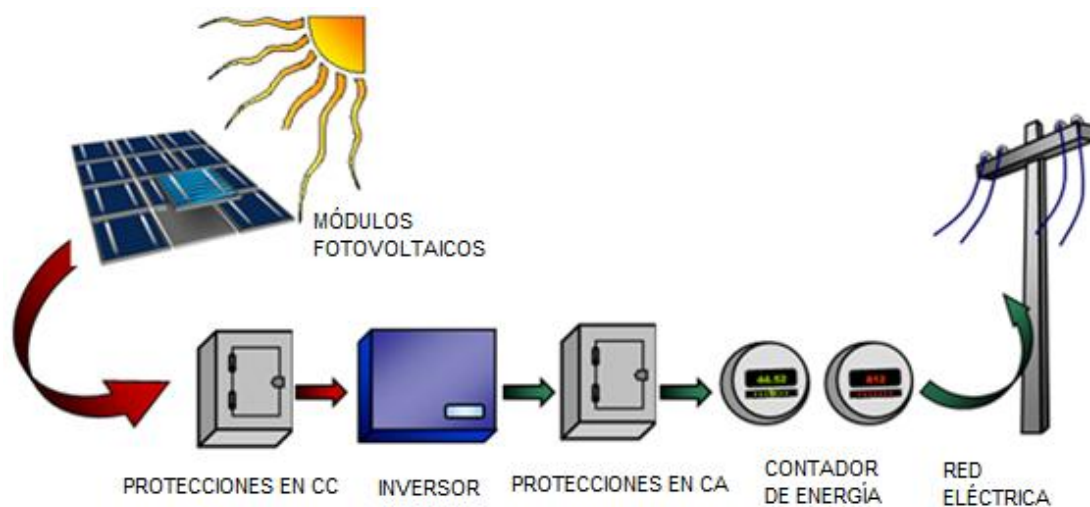


Figura 2.- Esquema de una instalación fotovoltaica

El inversor

Es un convertidor de tensión y corriente continua en tensión y corriente alterna. Le llega corriente y tensión continua del generador fotovoltaico y la convierte en corriente y tensión alterna con las mismas características que la red eléctrica en el punto de conexión. Dispone de:

- Protecciones para garantizar la desconexión en caso de pérdida de tensión en la red
- Vigilante de aislamiento que avisa en caso de pérdida de resistencia del mismo
- Sistemas que garantizan la calidad de la energía inyectada y de transformador a la salida del inversor que además de adecuar la tensión a la de la red permite el aislamiento galvánico entre la parte continua y alterna.

El Generador fotovoltaico

Es la parte más visible y está encargada de convertir la radiación del Sol en electricidad. Está compuesto por un conjunto de módulos fotovoltaicos conectados entre sí para obtener los valores de corriente y tensión continua adecuados. A su vez cada módulo fotovoltaico está formado por una serie de células fotovoltaicas conectadas, que son las que realmente producen electricidad. En nuestro caso el generador fotovoltaico está constituido por 25 módulos de potencia 106 Wp (vatios pico) conectados en serie, y cada uno de ellos está formado 72 células fotovoltaicas de silicio monocristalino.

Estructura soporte

Es la encargada de garantizar una fijación segura de los módulos, proporcionando la inclinación y orientación adecuada para el máximo aprovechamiento de la radiación solar. Por tanto deben ser aptas para su colocación a la intemperie, soportando

los fenómenos ambientales sin que se degrade ni desplace por efecto del viento.

Cuando las estructuras se sitúan en fachada irán ancladas al forjado de hormigón del edificio, y cuando se sitúan en el suelo se realizan unas zapatas de hormigón que quedan enterradas y soportan la estructura.

Protecciones

Situadas normalmente en una caja de plástico se encargan de evitar que los cables se puedan deteriorar al circular demasiada corriente, de desconectar en caso de que se detecte una fuga de corriente, de proteger los equipos de sobrecargas, de proteger los módulos y de derivar a tierra posibles sobretensiones de origen atmosférico inducidas en la estructura soporte. Entre otros podemos encontrar fusibles, magneto térmicos, diferenciales, varistores, etc. Todos los equipos y cableados deben tener un aislamiento adecuado para intemperie, además de canalizar los cables bajo tubo o canaleta y situar los equipos en el interior, salvo lógicamente los módulos que deben recibir la radiación solar.

Los contadores

Se encargan de medir la energía que produce y consume la instalación, tendremos por tanto un contador de entrada y uno de salida, y se sitúan junto a la acometida eléctrica,. No hay que confundir el contador de entrada de la instalación fotovoltaica con el contador de entrada del lugar donde ubiquemos la instalación, el primero solo mide la energía consumida por la instalación, por ejemplo por la noche cuando los equipos están operativos pero no hay radiación solar. El de entrada del centro medirá la energía consumida en el mismo y será lo que la compañía eléctrica le facture. Por otro lado nosotros facturaremos lo que produzcamos menos lo que consumamos en la instalación fotovoltaica.

Monitorización

Se encarga del seguimiento y almacenamiento de los parámetros de funcionamiento de la instalación y la realiza un gestor de datos. Es un aparato cuya función es almacenar todos los datos relevantes de la instalación como:

- tensión y corriente en continua
- tensión y corriente en alterna
- potencia instantánea de funcionamiento
- temperatura ambiente a la sombra junto al campo generador
- radiación solar, etc.

Se puede conectar a un ordenador para descargar los datos y representarlos en curvas para estudiar el funcionamiento de la instalación a lo largo del tiempo o se pueden descargar vía módem desde un ordenador remoto.

5 Tecnologías y tipos de células y módulos fotovoltaicos

5.1 Tipos de células

Existen diferentes tipos de paneles solares en función de los materiales empleados, los métodos de fabricación que se empleen y la forma final. A continuación se describen los materiales que pueden formar las células solares:

Silicio Puro monocrystalino. Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para éste tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%.

· **Silicio puro policristalino.** Los materiales son semejantes a los del tipo anterior aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocrystalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo.

Por las características físicas del silicio cristalizado, los paneles fabricados siguiendo esta tecnología presentan un grosor considerable. Mediante el empleo del silicio con otra estructura o de otros materiales semiconductores es posible conseguir paneles más finos y versátiles que permiten incluso en algún caso su adaptación a superficies irregulares. Son los denominados paneles de lámina delgada. Así pues, los tipos de paneles de lámina delgada son:

· **Silicio amorfo.** (TFS) Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina alguna. Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (Calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 8%.

· **Teluro de cadmio,** Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%

· **Arseniuro de Galio.** Uno de los materiales más eficientes. presenta unos rendimientos en laboratorio del 25.7% siendo los comerciales del 20%

· **Diseleniuro de cobre en indio.** Con rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en módulos comerciales del 9%

· **Triple unión.** GaAs, Ge y GaInP2 esta unión de tres semiconductores obtiene un rendimiento del 39%.

5.2 Tipos de paneles en función de la forma

Es posible clasificar los tipos de paneles en función de su forma:

Paneles con sistemas de concentración. Mediante una serie de superficies reflectantes concentra la luz sobre los paneles fotovoltaicos. Aunque el porcentaje de conversión no varíe, una misma superficie de panel producirá más electricidad ya que recibe una cantidad concentrada de fotones. Actualmente se investiga en sistemas que concentran la radiación solar por medio de lentes. La concentración de la luz sobre los paneles solares es una de las vías que están desarrollando los fabricantes para lograr aumentar la efectividad de las células fotovoltaicas y bajar los costes.

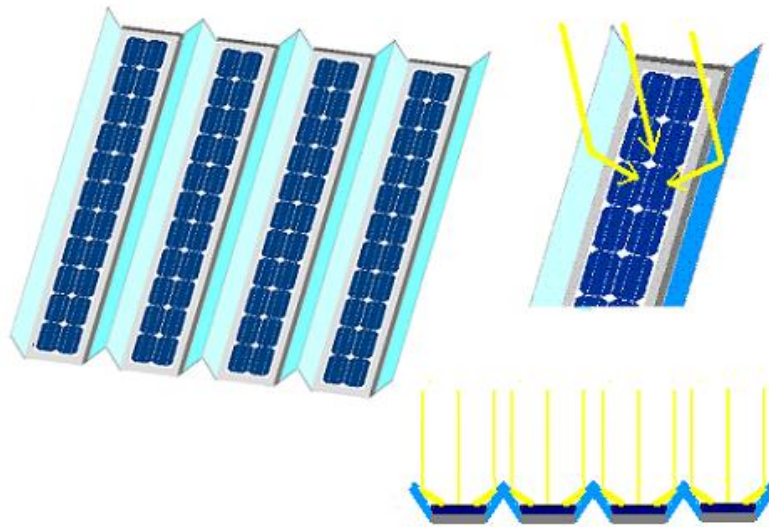


Figura 3.- *Panel con sistemas de concentración*

Paneles de formato “teja o baldosa”. Estos paneles son de pequeño tamaño y están pensados para combinarse en gran número para así cubrir las grandes superficies que ofrecen los tejados de las viviendas. Aptos para cubrir grandes demandas energéticas en los que se necesita una elevada superficie de captación.



Figura 4.- *Panel de formato teja*

Paneles bifaciales: Basados en un tipo de panel capaz de transformar en electricidad la radiación solar que le recibe por cualquiera de sus dos caras. Para aprovechar convenientemente esta cualidad se coloca sobre dos superficies blancas que reflejan la luz solar hacia el reverso del panel.

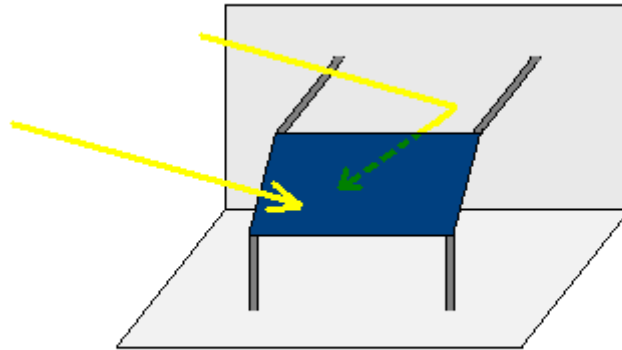


Figura 5.- Panel bifacial

5.3 Estructura del módulo fotovoltaico

La estructura del módulo fotovoltaico está formado por:

Cubierta frontal.

Ha de poseer:

- Una elevada transmisión en el rango de longitudes de onda que puedan ser aprovechadas por una célula solar fotovoltaica
- Una baja reflexión de la superficie frontal, para aprovechar al máximo la energía solar incidente.

Además, el material ha de ser:

- Impermeable al agua
- Deberá tener una buena resistencia al impacto
- Deberá ser estable a la exposición prolongada de rayos UV
- Contará con una baja resistividad térmica.

Si se diera el caso de que penetrara agua en el interior del módulo, ésta corroería los contactos metálicos contribuyendo a reducir drásticamente la vida útil del módulo. Entre los materiales para la superficie frontal más empleados podemos encontrar acrílicos, polímeros y cristal.

Encapsulante.

Constituido por un material que debe presentar una buena transmisión a la radiación y una degradabilidad baja a la acción de los rayos solares. Además debe ser impermeable al agua, resistente a la fatiga térmica y a la abrasión.

Cubierta posterior.

Constituida normalmente por varias capas opacas que reflejan la luz que ha pasado entre los intersticios de las células, haciendo que vuelvan a incidir otra vez sobre éstas. Debe ser impermeable y con baja resistencia térmica.

5.4 Nuevas tecnologías de módulos de lámina delgada

Los módulos de lámina delgada se realizan creciendo o depositando directamente el semiconductor sobre un sustrato rígido o flexible que entrará a formar parte del módulo fotovoltaico. Se utilizan semiconductores con elevado coeficiente de absorción, de modo que es suficiente con unas pocas micras de material. Esto permite un proceso de fabricación mucho más económico, pues se utiliza una cantidad menor de materia prima, y se permiten niveles de automatización mucho mayores. Además el consumo energético en la fabricación es mucho menor, lo que se traduce en tiempos de retorno energético muy reducidos.

Las tecnologías de lámina delgada engloban principalmente, las basadas en:

- **telururo de cadmio (CdTe)**
- **silicio amorfo hidrogenado (a-Si:H)**
- **diseleniuro de cobre-indio-galio (CIGS).**

5.4.1 Módulos de silicio amorfo hidrogenado (a-Si:H)

El silicio amorfo no presenta una estructura ordenada a nivel atómico y contiene un gran número de átomos con enlaces no saturados, que han de pasivarse con hidrógeno. Su fabricación es mucho más económica que la del silicio cristalino. Además, al tener un coeficiente de absorción 40 veces mayor que el silicio cristalino, basta con utilizar 1 micra de material para absorber el 90% del espectro utilizable. Esto significa que se puede reducir drásticamente el uso del material activo y por tanto el coste.

Además de la estructura más simple, se fabrican módulos de a-Si con estructuras más complejas, utilizando varias uniones o bien una hetero unión en la que se incluye en el dispositivo una capa de silicio micro cristalino. El record actual de eficiencia en laboratorio es del 12%.

Uno de los efectos que limitan la eficiencia de los módulos de silicio amorfo es la degradación Staebler-Wronski, mediante el cual aproximadamente un 20% de eficiencia inicial se pierde durante las primeras horas de exposición a la luz natural.

5.4.2 Módulos de telururo de cadmio

El telururo de cadmio es un material policristalino, es decir, formado por pequeños cristales de varias micras de tamaño. Su coeficiente de absorción es aún más elevado que el del silicio amorfo.

Los módulos de CdTe industriales presentan eficiencias en torno al 11%, aunque a nivel de laboratorio se ha llegado hasta el 16,7%. Al contrario que los módulos a-Si, no sufren mecanismos de degradación inicial por luz. El proceso de fabricación es sencillo y económico, y actualmente presenta los costes más bajos de todas las tecnologías comerciales de módulos fotovoltaicos.

El uso de Cd, material altamente tóxico, supuso inicialmente un impedimento al desarrollo de esta tecnología. Hoy en día, sin embargo, esto no se considera preocupante, pues mientras el Cd está integrado en el interior del módulo fotovoltaico, no se produce ningún tipo de emisión al medioambiente. Otra cuestión que amenaza el crecimiento de esta tecnología es la de la escasez de telurio.

5.4.3 Módulos de CIGS

El diseleniuro de cobre-indio-galio (CIGS) es también un material policristalino. El CIGS presenta un coeficiente de absorción mayor aún que el CdTe y el a-Si, esto hace que se requiera muy poca cantidad de semiconductor para fabricar estos módulos.

Los módulos CIGS presentan los valores más altos de eficiencia de todas las tecnologías de lámina delgada. A nivel industrial, con este proceso se consiguen eficiencias superiores al 12%, estando el record en laboratorio casi en el 20%.

Sin embargo, el proceso de fabricación es complejo, lo que hace que hasta ahora esta tecnología no haya sido económicamente tan ventajosa como la del CdTe y el a-Si. Hoy en día se están desarrollando técnicas económicas de fabricación de módulos CIGS muy prometedoras, por lo que es posible que esta tecnología eleve su cuota de mercado en los próximos años.

6 Instalaciones fotovoltaicas: Sistemas aislados y sistemas conectados a red

Existen dos tipos básicos de sistema fotovoltaico:

- Aislados
- De conexión a red.

Los sistemas aislados se dan principalmente en aquellos lugares donde no llega la red eléctrica, pero hay necesidad de energía, por ejemplo casas en entornos rurales, alejadas de la ciudad. Estos sistemas constan de una o más baterías conectadas a sendos generadores FV, para almacenar la electricidad que éstos producen. Las baterías almacenan corriente continua, generalmente a 12 ó 24 V, y disponen de un dispositivo de protección en la línea, llamado regulador, para evitar que llegue a ellas más energía de la que pueden almacenar una vez cargadas completamente. Después, la energía almacenada puede ser usada directamente como sale de la batería (12V, DC) o puede ser transformada mediante un inversor a corriente alterna de 220V y 50 Hz, como la corriente de red. Estos sistemas, al contrario que los conectados a red, no operan en el punto de máxima potencia (MPP), por lo que son menos eficientes. También presentan una producción discontinua, debido a que el regulador puede interrumpir la inyección de energía en el sistema, con lo que dicha energía es desperdiciada. Por estos motivos, los sistemas aislados sólo son rentables en ubicaciones remotas, hasta donde es muy costoso llevar el tendido de la red eléctrica. En un lugar con fácil acceso a la misma, es más interesante poner un sistema conectado a red.



Figura 6.- Ejemplo de sistema fotovoltaico aislado.

Los sistemas de conexión a red funcionan de manera muy similar a los aislados, con la salvedad de que toda la energía generada pasa por el inversor y se inyecta directamente a la red con sus valores normalizados de tensión y frecuencia. Las instalaciones de este tipo son más versátiles que los sistemas aislados, pues tenemos la posibilidad de aprovechar toda la energía que generamos, mientras que en el otro caso dependía de la capacidad de almacenamiento de las baterías. Gracias a esto, los sistemas de conexión a red pueden tener potencias instaladas en un gran rango, desde algunos KW en instalaciones domésticas, a varios MW en plantas industriales.

7 Métodos de medida y caracterización de módulos

Las curvas características de los módulos tienen dos puntos importantes: La tensión en circuito abierto (V_{oc}) y la corriente de cortocircuito (I_{sc}).

Para el cálculo de estos parámetros se utiliza un trazador de curvas (incluye el medidor de Tensión-Corriente y el circuito de control), el cual va tomando muestras cada cierto tiempo para sacar la curva I-V de los paneles fotovoltaicos desde I_{sc} a V_{oc} .

El circuito que se utiliza para la medición de la curva I-V es un circuito con carga electrónica.

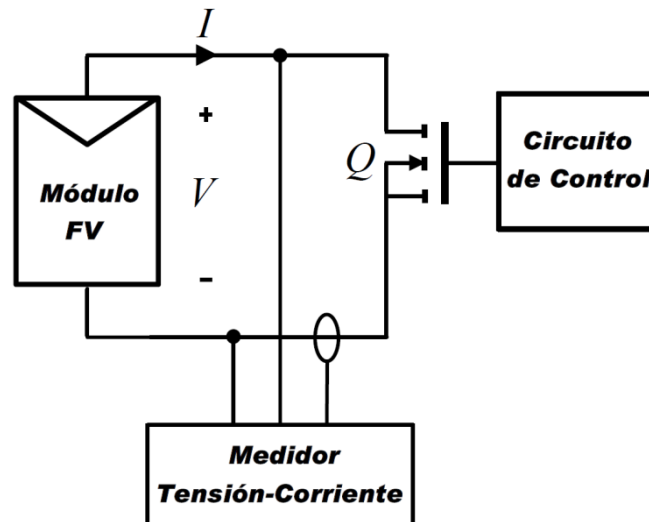


Figura 7.-Esquema de conexión con carga electrónica.

I : Intensidad del circuito

V: Tensión del circuito

Q: Carga electrónica.

El sistema utilizado, basado en la carga electrónica emplea un transistor (normalmente Mosfet) como carga. Variando la tensión puerta-fuente, se regula la resistencia que se genera entre el drenador y la fuente.

8 Procedimientos de traslación de curvas

Existen varios procedimientos de corrección de los cuales en este proyecto solo vamos a utilizar el procedimiento de corrección 3.

A continuación se van a explicar todos los procedimientos.

Procedimiento de corrección 1

Por lo general, la irradiancia G se calcula a partir de la corriente de corto circuito medida (IRC) del dispositivo de referencia FV tal como se define en la norma IEC 60904-2, y su valor de calibración en STC (IRC, STC). Una corrección se debe aplicar para tener en cuenta la temperatura del dispositivo de referencia T_{RC} utilizando el coeficiente de temperatura especificada relativa del dispositivo de referencia ($1 / ^\circ C$) que se da a $25^\circ C$ y $1000 W/m^2$.

$$G = \frac{1000 W m^{-2} * I_{RC}}{I_{RC,STC}} * [1 - \alpha_{RC} * (T_{RC} - 25^\circ C)] \quad (1)$$

La característica corriente-voltaje medida se corregirá a condiciones estándar de prueba o la temperatura seleccionada y otros valores de irradiación mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$I_2 = I_1 + I_{SC} * \left(\frac{G_2}{G_1} - 1 \right) + \alpha * (T_2 - T_1) \quad (2)$$

$$V_2 = V_1 - R_S * (I_2 - I_1) - k * I_2 * (T_2 - T_1) + \beta * (T_2 - T_1) \quad (3)$$

donde:

I_1, V_1 = son coordenadas de puntos en las características medidas;

I_2, V_2 = son las coordenadas de los puntos correspondientes a la característica de corrección;

G_1 = es la irradiancia medida con el dispositivo de referencia;

G_2 = es la irradiancia en la irradiancia norma o deseada;

T_1 = es la temperatura medida de la muestra de ensayo;

T_2 = es la temperatura estándar o de otro tipo deseado;

I_{SC} = es la medida corriente de cortocircuito de la muestra de ensayo en G_1 y T_1 ;

α y β = son los coeficientes de temperatura actual y la tensión de la muestra de ensayo en la irradiación estándar o meta para la corrección y dentro del rango de temperatura de interés;

R_S = es la resistencia de la serie interna de la muestra de ensayo;

k = es un factor de corrección de la curva.

La ecuación (1) sólo es aplicable para las curvas I-V medidas a irradiancias que son constantes durante la adquisición de toda la curva I-V. Para pulsado de simuladores de radiación solar en

descomposición o cualquier otro tipo de fluctuaciones de la radiación en la ecuación de medición I-V (1) no es aplicable como tal. En este caso, cada uno mide la curva I-V que tiene que ser corregida a un equivalente de la curva I-V en la irradiación constante que requiere de un factor de escala adicionales frente a I_{sc} . Por razones prácticas, este factor de escala está relacionada con la radiación correspondiente a la medida de I_{sc} . Para la ecuación de irradiación no constante (1) se convertirá en la ecuación siguiente de traslación.

$$I_2 = I_1 + \frac{G_1}{G_{SC}} I_{SC} * \left(\frac{G_2}{G_1} - 1 \right) + \alpha * (T_2 - T_1) \quad (4)$$

Donde

G_{SC} : es el valor de la irradiación en el momento de la medición del ISC y G_1 es la radiación medida en el momento de adquisición de datos de cada uno de los puntos de datos IV.

Procedimiento de corrección 2

Este procedimiento se basa en el modelo simplificado de un diodo de dispositivos fotovoltaicos. Las ecuaciones de traducción semi-empírico contienen 5 parámetros de corrección I-V que se puede determinar mediante la medición de curvas IV en diferentes temperaturas y condiciones de irradiación. Además de los coeficientes de temperatura para la corriente de cortocircuito (α) y voltaje de circuito abierto (β) hay un coeficiente de temperatura adicional (k') que es de uso general que explica los cambios de la resistencia en serie interna (y el factor de llenado) con la temperatura.

El procedimiento de corrección se define por las siguientes ecuaciones para la corriente y voltaje

$$I_2 = I_1 * (1 + \alpha_{rel} * (T_2 - T_1)) \frac{G_2}{G_1} \quad (5)$$

$$V_2 = V_1 + V_{OC1} * \left(\beta_{rel} * (T_2 - T_1) + a * \ln \left(\frac{G_2}{G_1} \right) \right) - R_S * (I_2 - I_1) - k' * I_2 * (T_2 - T_1) \quad (6)$$

donde:

I_1, V_1 : son coordenadas de puntos en la medida característica IV;

I_2, V_2 : son las coordenadas de los puntos correspondientes de la curva de corrección IV;

G_1 : es la irradiación como medida con el dispositivo de referencia;

G_2 : es el objetivo para la irradiancia corregido característica IV;

T_1 : es la temperatura medida de la muestra de ensayo;

T_2 : es la temperatura final de la muestra de ensayo;

V_{OC1} : el voltaje de circuito abierto en condiciones de prueba;

α_{rel} y β_{rel} : son los coeficientes de temperatura relativa de corriente y tensión de la probeta de ensayo, medida a 1 000 W/m². Están relacionados con corto circuito de tensión del circuito actual y abrir en STC;

a : es el factor de corrección de la irradiación para el voltaje de circuito abierto que está vinculado con el voltaje de diodo térmico D de la unión pn y el número de células n_s conectados en serie en el módulo;

R'_S : es la resistencia de la serie interna de la muestra de ensayo;

κ' : se interpreta como el coeficiente de temperatura de la resistencia de la serie de R'_S .

Procedimiento de corrección 3

Este procedimiento se basa en la interpolación lineal o la extrapolación de dos medidas características I-V. Utiliza un mínimo de dos características I-V, y no requiere de parámetros de corrección o parámetros de ajuste. Las curvas características medidas corriente-voltaje deben corregirse a condiciones estándar de prueba o la temperatura seleccionada y otros valores de irradiación mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$V_3 = V_1 + a * (V_2 - V_1) \quad (7)$$

$$I_3 = I_1 + a * (I_2 - I_1) \quad (8)$$

El par de (I_1 , V_1) y (I_2 , V_2) debe ser elegido de modo que $I_2 - I_1 = I_{SC2} - I_{SC1}$

donde:

I_1 , V_1 : son las coordenadas de los puntos sobre las características medidas con una irradiancia G_1 y la temperatura T_1 .

I_2 , V_2 : son las coordenadas de los puntos sobre las características de medida con un G_2 irradiancia y la temperatura T_2 .

I_3 , V_3 : son las coordenadas de los puntos correspondientes de las características corregidas en un G_3 irradiancia y temperatura T_3 .

I_{SC1} , I_{SC2} : se mide la corriente de cortocircuito de la probeta.

a : es una constante para la interpolación, que tiene la relación con la irradiación y la temperatura de la siguiente manera.

$$G_3 = G_1 + a * (G_2 - G_1) \quad (9)$$

$$T_3 = T_1 + a * (T_2 - T_1) \quad (10)$$

Este método debe ser aplicable a la mayoría de tecnologías fotovoltaicas. Las ecuaciones de la (7) a la (10) se puede utilizar para la corrección de la irradiación, corrección de la temperatura, y la corrección simultánea de la irradiancia y la temperatura.

Corrección de la irradiancia y la temperatura a partir de dos medidas características IV

El procedimiento para corregir las características I-V de la irradiancia y la temperatura (G_3 , T_3) a partir de dos curvas características I-V medidas a las irradiancias y temperaturas de (G_1 , T_1) y (G_2 , T_2) es la siguiente (Figuras 1 (a) y 1 (b)).

a) se miden las dos curvas características I-V, a las irradiancias y temperaturas de G_1 , T_1 y G_2 , T_2 , respectivamente (líneas continuas en la Figura 8 (a)). Encontrar los valores de ISC_1 y ISC_2 .

b) Calcular "a" mediante la ecuación (8) o (9). Por ejemplo, cuando las dos curvas I-V medidas se realizaron en:

$$G_1 = 1\,000 \text{ W / m}^2 \text{ y } T_1 = 50^\circ \text{ C}$$

$$G_2 = 500 \text{ W / m}^2 \text{ y } T_2 = 40^\circ \text{ C.}$$

Y la irradiación de interés $G_3 = 800 \text{ W/m}^2$:

Luego, utilizando la ecuación (8) $a = 0,4$.

Y utilizando la ecuación (9) $T_3 = 46^\circ \text{ C}$.

c) Elegir un punto (V_1 , I_1) de la característica I-V 1. Encontrar un punto (V_2 , I_2) en la característica IV 2, por lo que la relación $I_2 - I_1 = ISC_2 - ISC_1$ se cumple (Figura 8 (b)).

d) Calcular V_3 e I_3 por las ecuaciones (6) y (7).

e) Seleccionar varios conjuntos de puntos de datos (V_1 , I_1) sobre las características IV 1, y calcular (V_3 , I_3) para cada uno de los procedimientos (c) y (d).

f) Las características IV 3 en el G_3 irradiancia y temperatura T_3 están dadas por el conjunto de puntos de datos (V_3 , I_3) (línea discontinua en la figura 7 (b)).

Las figuras 8(a) y 8(b) muestran un ejemplo de una corrección de la irradiación. La figura 8(c) muestra un ejemplo de corrección de la temperatura. Figura 8 (d) muestra una corrección simultánea de irradiancia y temperatura. Cuando $0 < a < 1$, el procedimiento es una interpolación. De lo contrario, el procedimiento es la extrapolación.

Cabe señalar que cuando G_1 , G_2 , T_1 y T_2 son fijos, G_3 y T_3 no se puede elegir de manera independiente, ya que tienen las relaciones que figuran en las ecuaciones (9) y (10) (Figura 2). Por ejemplo, cuando $G_1 = 1\,000 \text{ W / m}^2$, $T_1 = 20^\circ \text{ C}$, $G_2 = 0 \text{ W/m}^2$, $T_2 = 60^\circ \text{ C}$ (curva IV en oscuridad a 60° C), y desea tener la nueva curva a $G_3 = 750 \text{ W/m}^2$, se calcula que a es 0,25 por la ecuación (9). Por lo tanto, T_3 debe ser de 30° C de la ecuación (10).

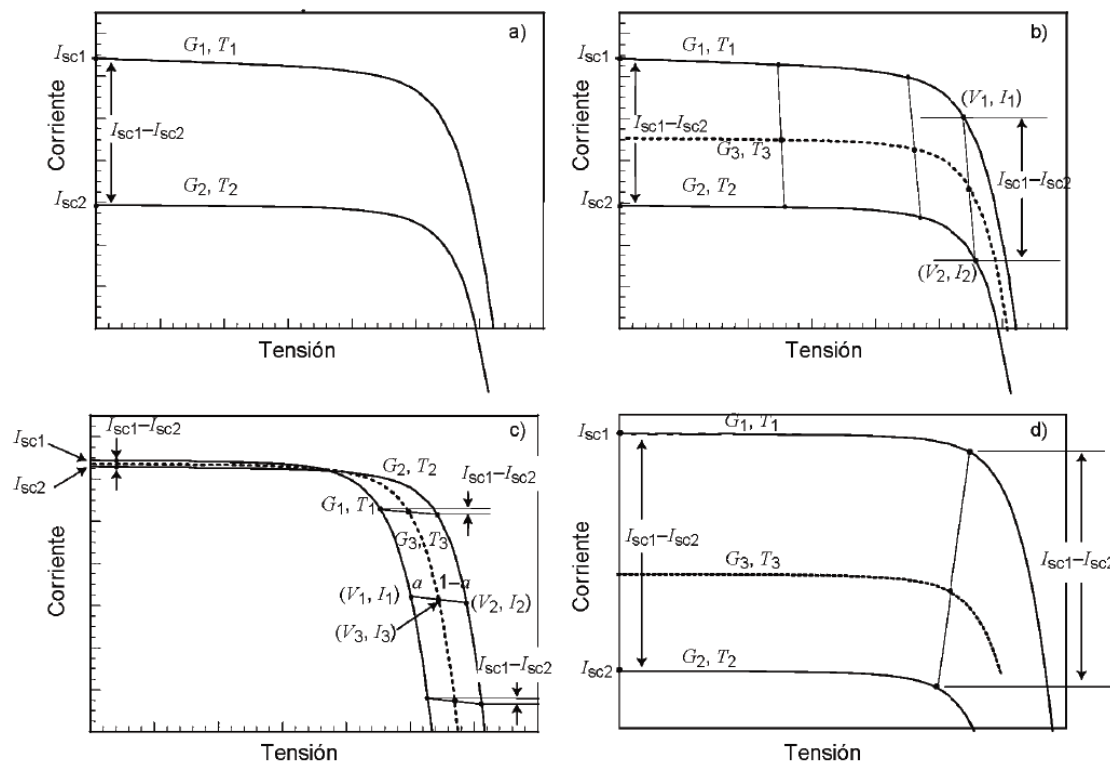


Figura 8.- Subfiguras (a) y (b) muestran correcciones radiación, (c) muestra una corrección de la temperatura y (d) muestra la corrección simultánea de la irradiancia y la temperatura.

NOTAS 1 interpolación suele dar mejores resultados que la extrapolación.

NOTA 2 Cuando $ISC1 \neq ISC2$ y la corrección características I-V en todo el voltaje de circuito abierto, es necesario, las características medidas deben ir más allá V_{oc} .

NOTA 3 Cuando no hay puntos de datos medidos que cumplen exactamente $I_2 = I_1 + (ISC2 - ISC1)$, el V_2 e I_2 puede calcularse a partir de la interpolación de los puntos de datos en la curva IV 2.

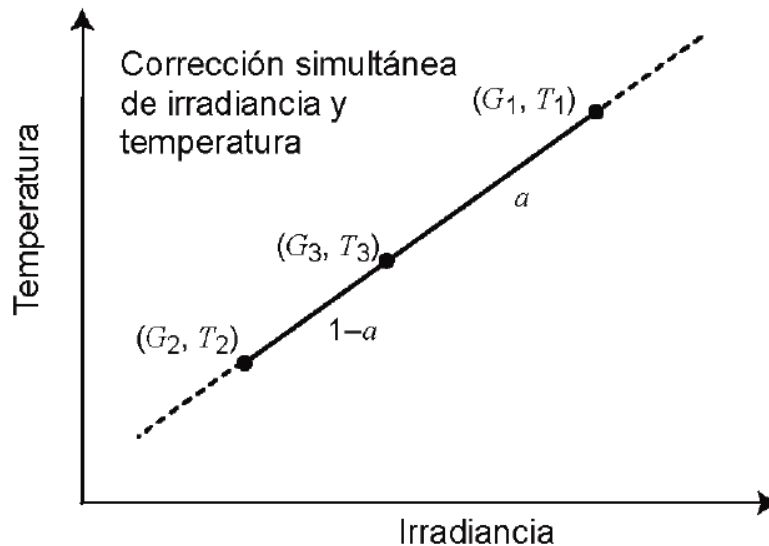


Figura 9.- Esquema de la relación de G_3 y T_3 que se pueden elegir en la corrección simultánea de la irradiancia y la temperatura, para un conjunto fijo de la T_1 , G_1 , T_2 , y G_2 por las ecuaciones (8) y (9)

La línea continua y con línea de trazos muestran la gama de T_3 G_3 y que se puede calcular mediante la interpolación y extrapolación, respectivamente.

Corrección de irradiancias y temperaturas diferentes de tres IV características

La corrección de las características I-V de diferentes gamas de radiación y la temperatura es posible mediante la combinación de los procedimientos descritos en el punto anterior. Por ejemplo, cuando tres curvas características consideradas al irradiancias y temperaturas de (G_a, T_a) , (G_b, T_b) y (G_c, T_c) están disponibles como se muestra en la Figura 10(a), las características I-V en cualquier irradiancias y temperaturas (G_n, T_n) se puede calcular de la siguiente manera.

- Las características al (G_m, T_m) se calculan a partir de los de (G_a, T_a) y (G_b, T_b) .
- Las características al (G_n, T_n) se calculan a partir de los de (G_m, T_m) y (G_c, T_c) .

Por ejemplo, cuando (G_a, T_a) , (G_b, T_b) , (G_c, T_c) y (G_n, T_n) son $(950 \text{ W / m}^2, 15^\circ \text{ C})$, $(850 \text{ W / m}^2, 25^\circ \text{ C})$, $(1100 \text{ W/m}^2, 30^\circ \text{ C})$ y $(1 \text{ W / m}^2, 2000, 25^\circ \text{ C})$, respectivamente, entonces (G_m, T_m) $(900 \text{ W / m}^2, 20^\circ \text{ C})$.

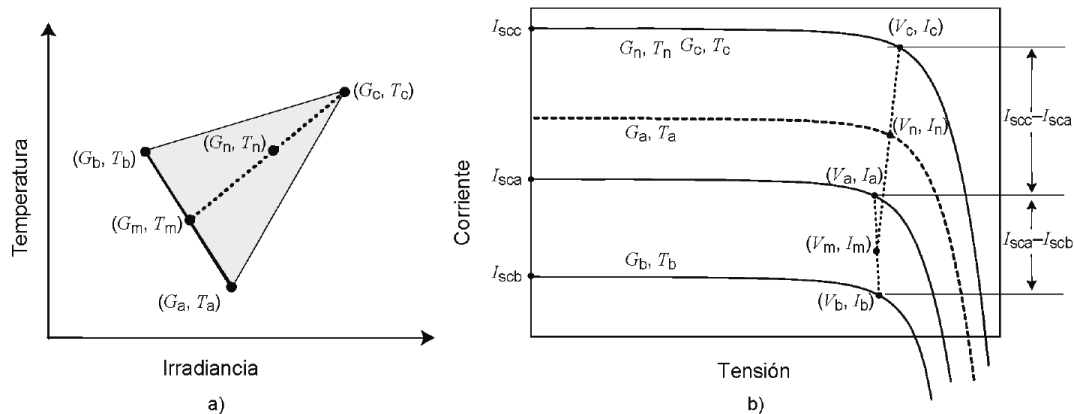


Figura 10.- Diagrama esquemático de los procesos para corregir las características I-V de diferentes gamas de radiación y la temperatura a partir de tres características medidas

El área sombreada en un (a) muestra el rango que se puede calcular por interpolación solamente. Sub-figura (b) muestra un ejemplo de las características IV, que corresponden a: (a).

Corrección de irradiancias y temperaturas diferentes a partir de cuatro medidas curvas IV

Cuando se dispone de cuatro curvas características I-V medidas a irradiancias y temperaturas de (G_a, T_a) , (G_b, T_b) , (G_c, T_c) y (G_d, T_d) que están disponibles como se muestra en la Figura 11, las curvas características I-V en cualquier irradiancia y temperatura (G_n, T_n) se pueden calcular de la siguiente manera. Este proceso es útil para la corrección de las curvas características en una amplia gama de la irradiación y la temperatura. Aunque el par de (G_l, T_l) y (G_m, T_m) para calcular las características de (G_n, T_n) no es única, los buenos resultados de corrección que están generalmente disponibles en $(G_a - G_l) / (G_a - G_b) = (G_c - G_m) / (G_c - G_d)$ se cumplen.

- Las características al (G_l, T_l) se calculan a partir de los de (G_a, T_a) y (G_b, T_b) .
- Las características al (G_m, T_m) se calculan a partir de los de (G_c, T_c) y (G_d, T_d) .
- Las características al (G_n, T_n) se calculan a partir de los de (G_l, T_l) y (G_m, T_m) .

Por ejemplo, cuando (G_a, T_a) , (G_b, T_b) , (G_c, T_c) , (G_d, T_d) y (G_n, T_n) son $(500 \text{ W / m}^2, 55^\circ\text{C})$, $(400 \text{ W / m}^2, 31^\circ\text{C})$, $(1000 \text{ W/m}^2, 60^\circ\text{C})$, $(950 \text{ W / m}^2, 32^\circ\text{C})$ y $(800 \text{ W / m}^2, 45^\circ\text{C})$, respectivamente, entonces (G_l, T_l) y (G_m, T_m) $(450 \text{ W / m}^2, 43^\circ\text{C})$ y $(975 \text{ W / m}^2, 46^\circ\text{C})$, respectivamente.

Las curvas características IV en el rango de la irradiancia y la temperatura que se muestra por el área sombreada de la Figura 11 se puede calcular por interpolación. Las curvas características de la gama que no sea el área sombreada puede ser calculada mediante extrapolación. Sin embargo, se debe tener cuidado de que una extrapolación excesiva no produzca malos resultados y una precisión de la corrección de los pobres.

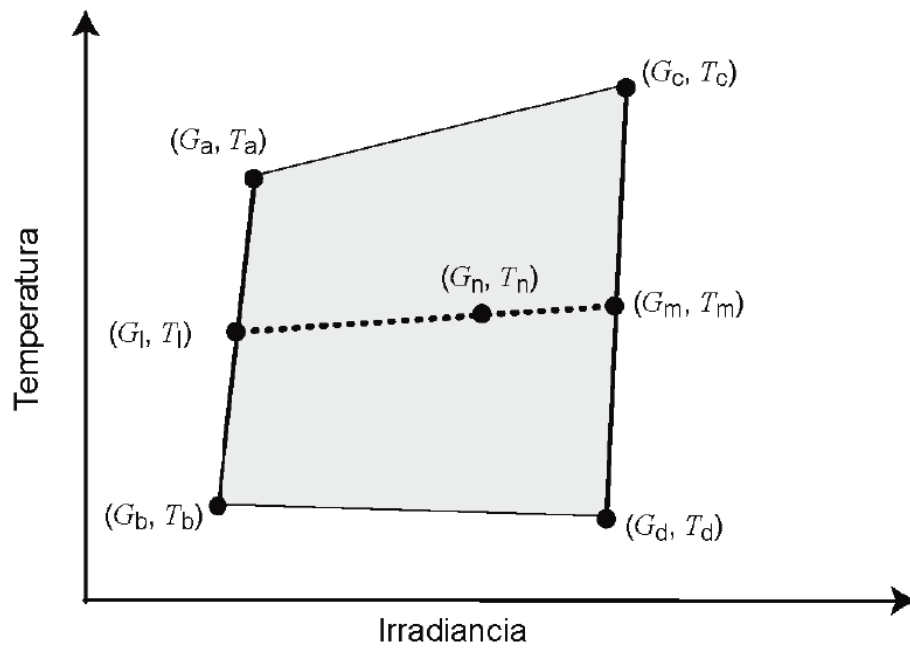


Figura 11.- Diagrama esquemático de los procesos para la corrección de las características I-V de diferentes gamas de radiación y temperatura basado en cuatro características medidas.

El área sombreada muestra el rango que se puede calcular solo por interpolación.

9 Resultados experimentales

En este apartado, vamos a evaluar 10 módulos, los cuales van a ser de diferentes tecnologías.

MÓDULO	TECNOLOGÍA
A y B	TELÚRO DE CADMIO (CdTe)
C y D	SILICIO AMORFO
E y F	SILICIO AMORFO Y SILICIO MICROCRISTALINO
G y H	SELENIURO DE COBRE E INDIO (CIS)
I y J	SILICIO MICROCRISTALINO

En los resultados experimentales se va a mostrar mediante gráficas, aplicando el sistema de corrección, como sale la curva I-V en función de la temperatura y la irradiancia.

En las gráficas se van a observar 4 curvas, de las cuales 3 son de medidas y una última que es la curva que sale aplicando el método de corrección.

Sabemos que estas gráficas muestran un comportamiento adecuado del panel siempre que la curva de referencia y la calculada coincidan y a su vez se encuentren ambas dentro de las otras 2 curvas.

A continuación se muestran unas gráficas, en las cuales vamos a poder observar el comportamiento de la curva I-V calculada según se modifiquen las curvas de medida por otros valores obtenidos.

Esta gráfica corresponde a un rango de valores de irradiancia y temperatura, los cuales están indicados encima de cada curva. Iremos modificando estos valores y sacando nuevas curvas para así ver el comportamiento que se produce.

9.1 Módulos A y B

- *Módulo A*

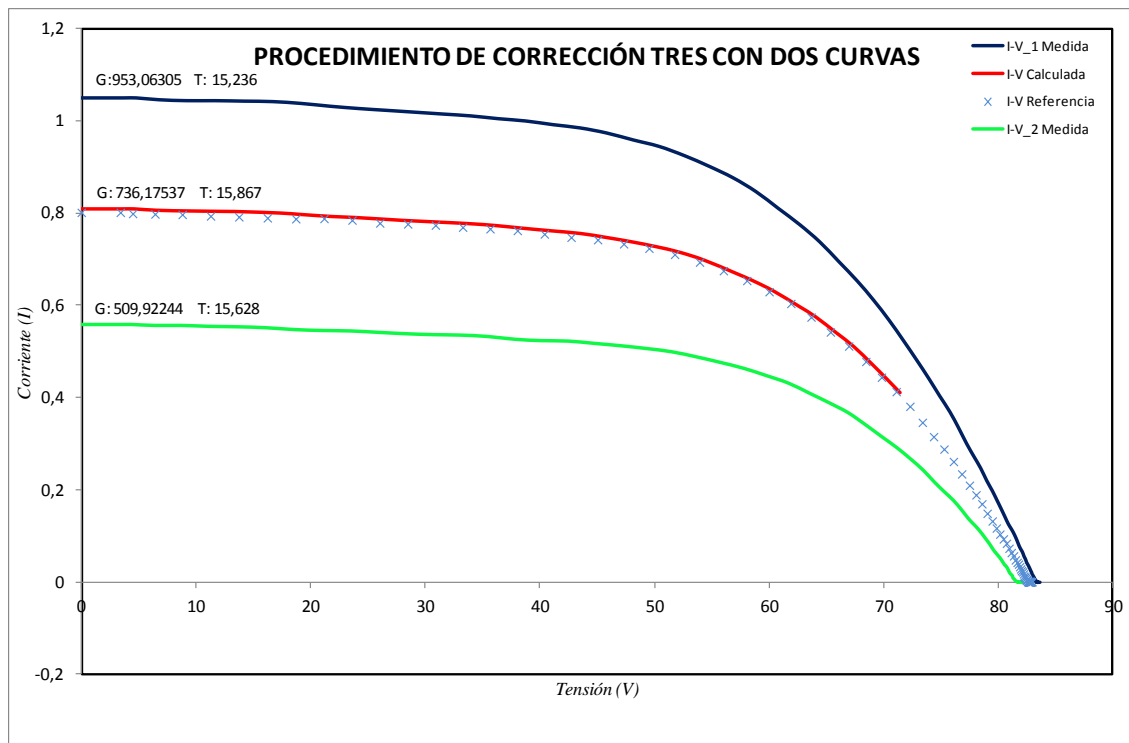


Figura 12.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

Para comprobar el funcionamiento de los módulos mediante el sistema de corrección comentado en el apartado 7, debemos comprobar que la curva experimental T3G3 (La curva IV referencia) y la curva T3G3 corregida (La curva IV calculada) coinciden.

Según los datos del módulo del Anexo I, sabemos que a una temperatura de 25°C y una irradiancia de 1000 W/m², la $I_{sc} = 1,19$ A y $V_{oc} = 89$ V.

Debido a que los resultados están a una temperatura de unos 15°C y unas irradiancias entre los 500 W/m² y los 1000 W/m² los valores de V_{oc} e I_{sc} son más bajos que los nominales.

El resultado de la figura 12 muestra que las curvas prácticamente se solapan, habiendo una mínima variación entre 0V y 60V, por lo que se verifica que el procedimiento de corrección de curvas funciona.

Para observar si el procedimiento de corrección se cumple a la perfección, se hacen comprobaciones a diferentes valores de irradiancia y temperatura.

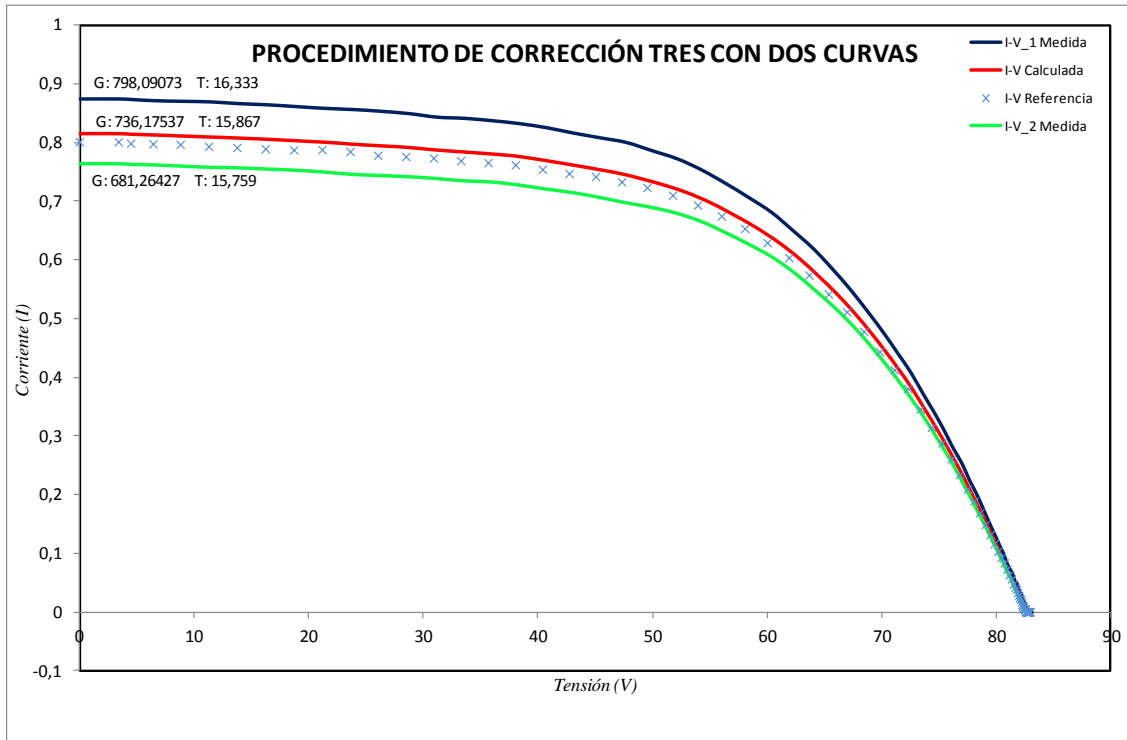


Figura 13.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 13 se han acercado los valores extremos para ver si la curva I-V calculada coincide con la de referencia.

Se puede observar que ambas curvas están muy cerca la una de la otra, por lo que se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

También se observa que los valores de I_{sc} y V_{oc} varían proporcionalmente al valor de irradiancia de la curva.

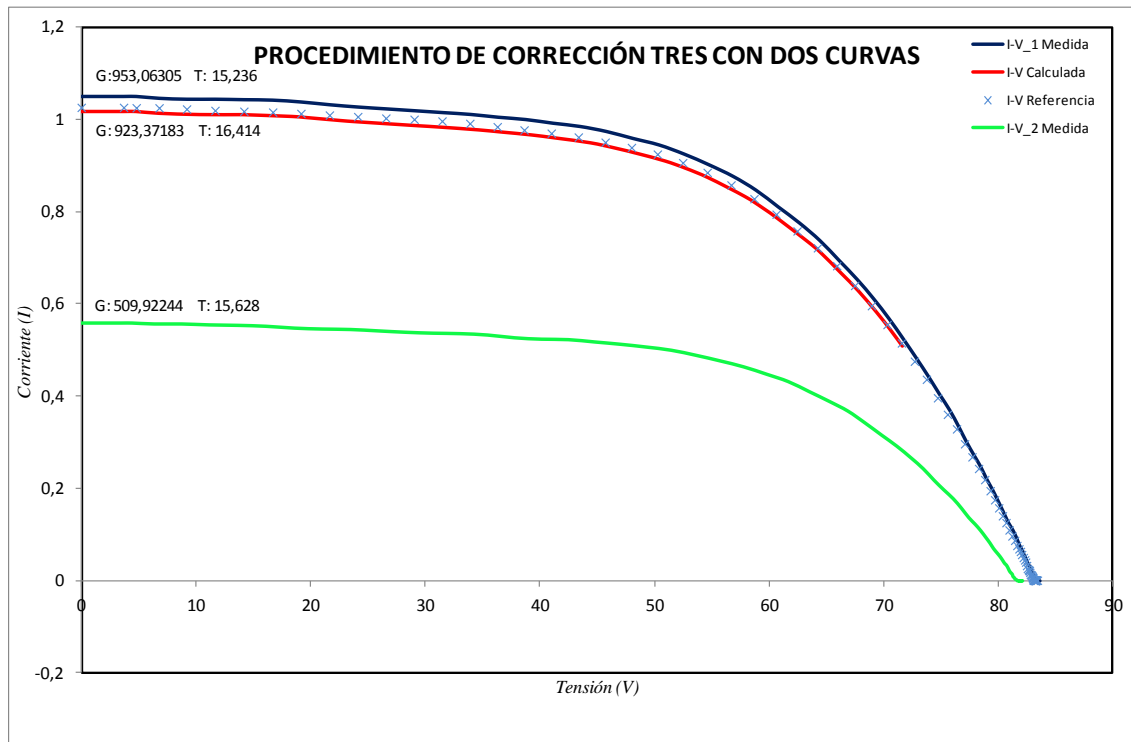


Figura 14.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica 14 podemos observar que los valores de V_{oc} e I_{sc} son acordes a la temperatura y la irradiancia.

Podemos ver que las curvas de referencia y la calculada prácticamente se solapan, por lo que podemos confirmar que el método de corrección funciona y que las curvas se corresponden a un buen funcionamiento del módulo.

- *Módulo B*

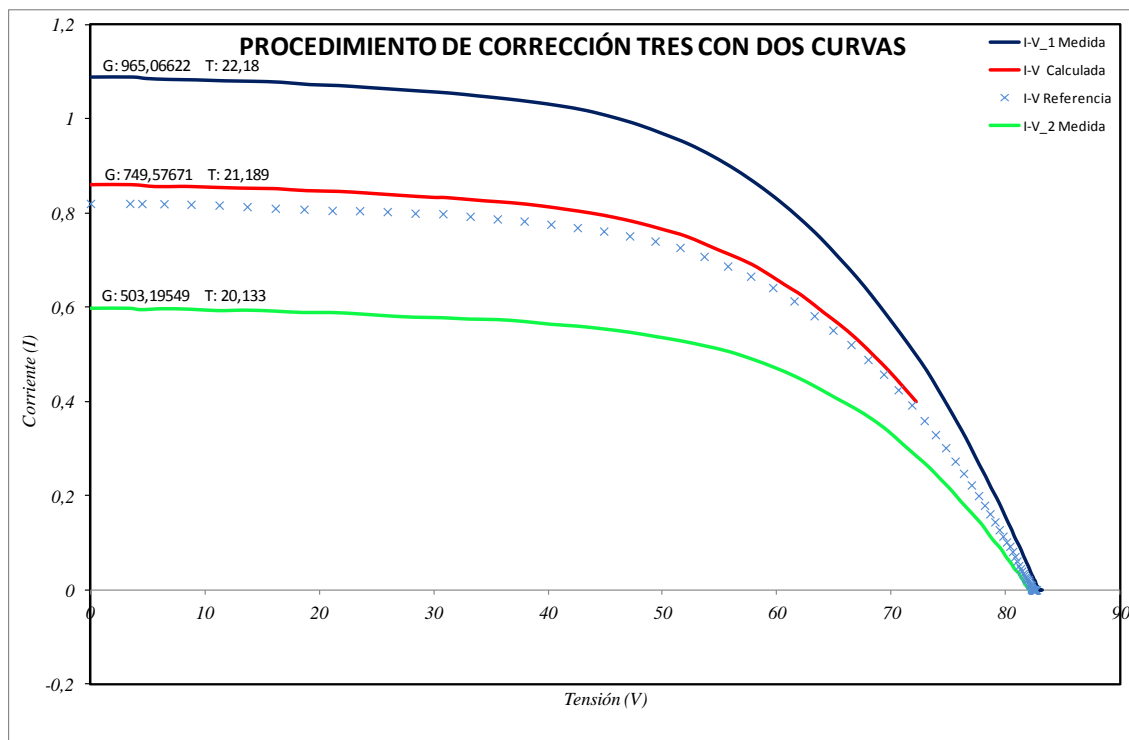


Figura 15.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

Para comprobar el funcionamiento de los módulos mediante el sistema de corrección comentado en el apartado 7, debemos comprobar que la curva experimental T3G3 (La curva IV referencia) y la curva T3G3 corregida (La curva IV calculada) coinciden.

Según los datos del módulo del Anexo I sabemos que a una temperatura de 25°C y una irradiancia de 1000 W/m², la $I_{sc} = 1,19$ A y $V_{oc} = 89$ V.

Al igual que en la placa anterior, el rango de irradiancias va desde los 500W/m² a los 1000W/m², pero en este caso la temperatura esta en torno a los 21°C. Sabemos por los datos de la placa que existe una variación de intensidad y voltaje cte. en función de la temperatura.

El resultado de la figura 15 muestra que las curvas tienen una pequeña variación, que se puede deber a factores externos, por lo que considerando que los valores son acordes a las condiciones climatológicas, podemos concluir que el procedimiento de corrección funciona.

Para observar si el procedimiento de corrección se cumple a la perfección, se hacen comprobaciones a diferentes valores de irradiancia y temperatura.

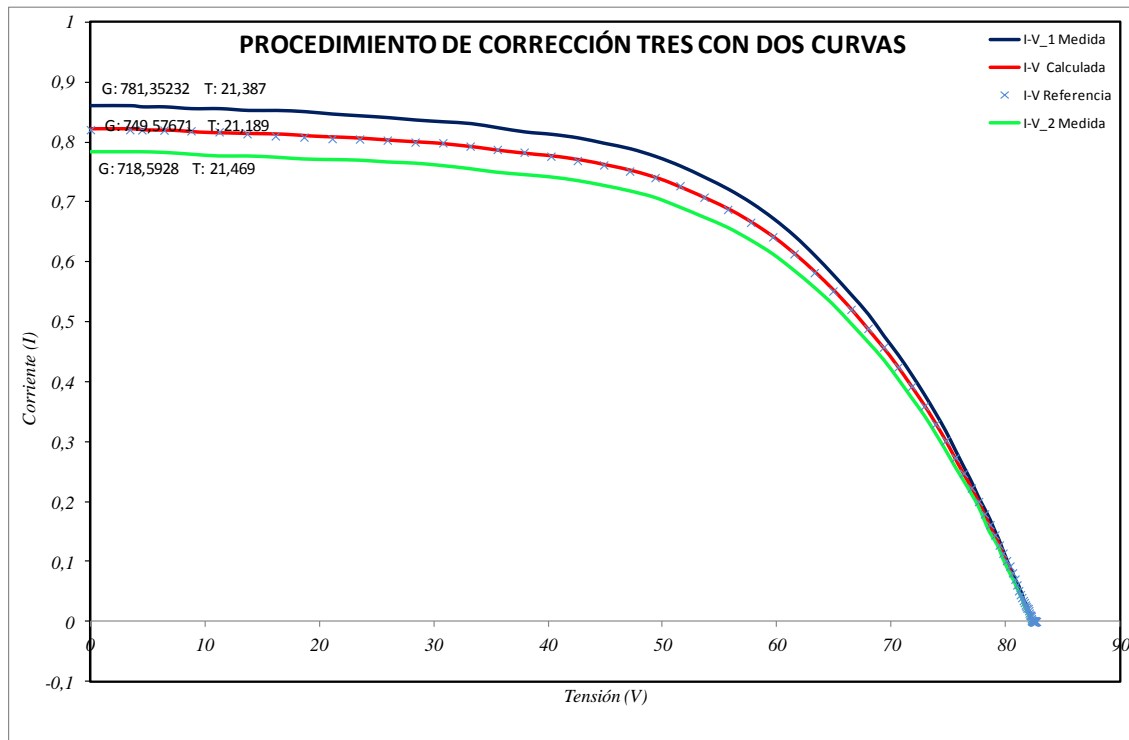


Figura 16.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 16 se han acercado los valores extremos para ver si la curva I-V calculada coincide con la de referencia.

Se puede observar que ambas curvas se solapan, por lo que se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

También se observa que los valores de I_{sc} y V_{oc} varían proporcionalmente al valor de irradiancia de la curva y que son acordes con los valores de irradiancia y temperatura.

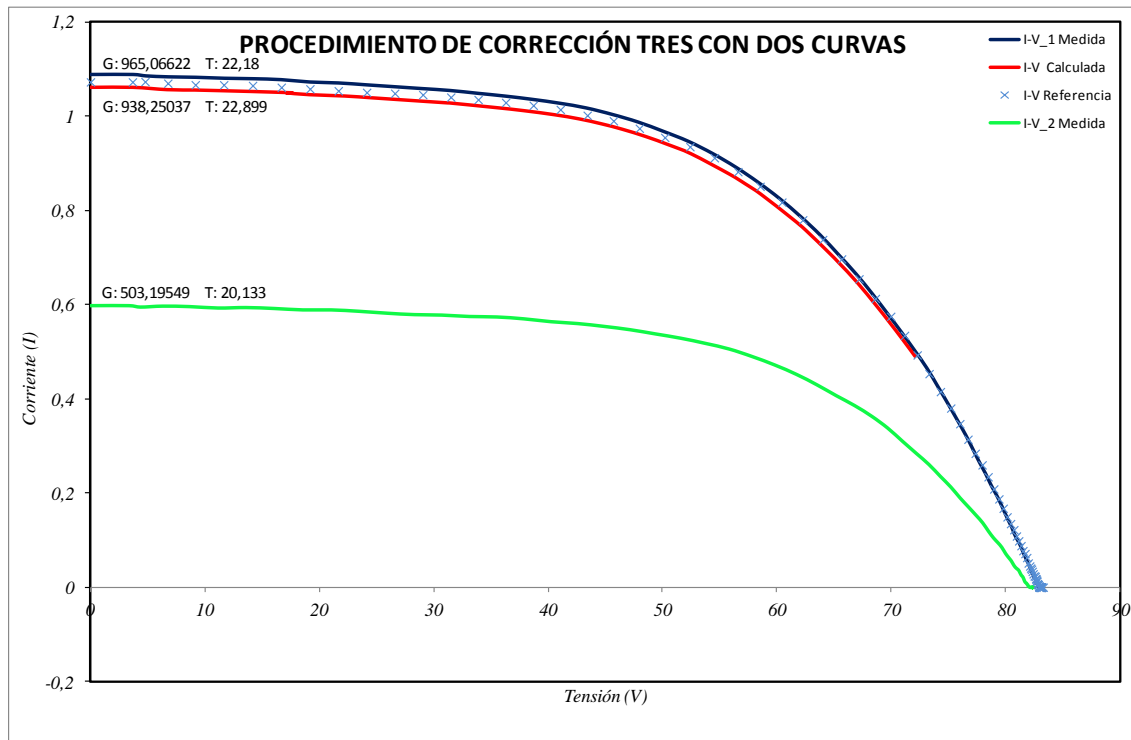


Figura 17.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica 17 podemos observar que los valores de V_{oc} e I_{sc} son acordes a la temperatura y la irradiancia.

Podemos ver que las curvas de referencia y la calculada prácticamente se solapan, y que los valores de intensidad y voltaje son coherentes, por lo que podemos confirmar que el método de corrección funciona y que las curvas se corresponden a un buen funcionamiento del módulo.

9.2 Módulos C y D

- *Módulo C*

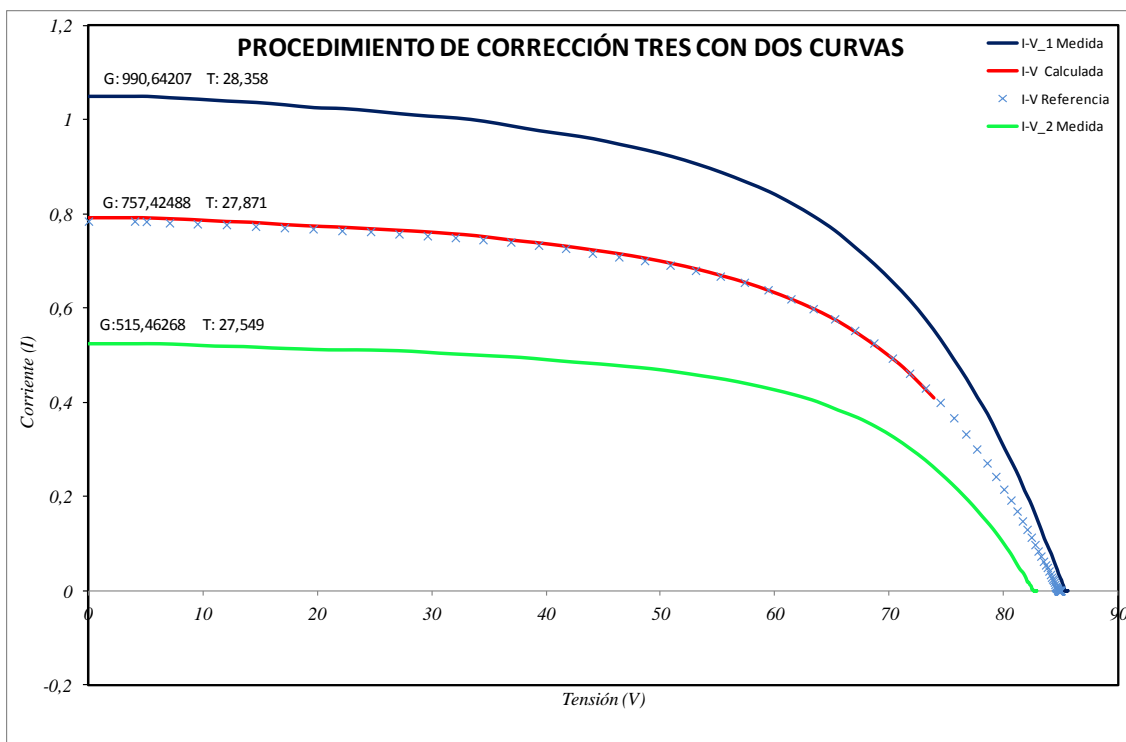


Figura 18.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

Para comprobar el funcionamiento de los módulos mediante el sistema de corrección comentado en el apartado 7, debemos comprobar que la curva experimental T3G3 (La curva IV referencia) y la curva T3G3 corregida (La curva IV calculada) coinciden.

Como en la hoja de características del Anexo I no menciona cuales son los valores nominales de temperatura e irradiancia suponemos que son los mismos que los de las placas anteriores, $T = 25^{\circ}\text{C}$ e $G = 1000 \text{ W/m}^2$.

Según los datos del módulo del Anexo I, sabemos que a una temperatura de 25°C y una irradiancia de 1000 W/m^2 , la $I_{sc} = 1,19 \text{ A}$ y $V_{oc} = 92 \text{ V}$.

En la figura 18 el rango de irradiancias va desde los 500 W/m^2 a los 1000 W/m^2 , y la temperatura esta en torno a los 28°C . Sabemos por los datos de la placa que existe una variación de intensidad y voltaje cte. en función de la temperatura.

El resultado de la figura 17 muestra que las curvas se solapan, y considerando que los valores son acordes a las condiciones climatológicas y que los valores de la tabla están tomados en laboratorio y no a la intemperie, podemos concluir que el procedimiento de corrección funciona.

Para observar si el procedimiento de corrección se cumple a la perfección, se hacen comprobaciones a diferentes valores de irradiancia y temperatura.

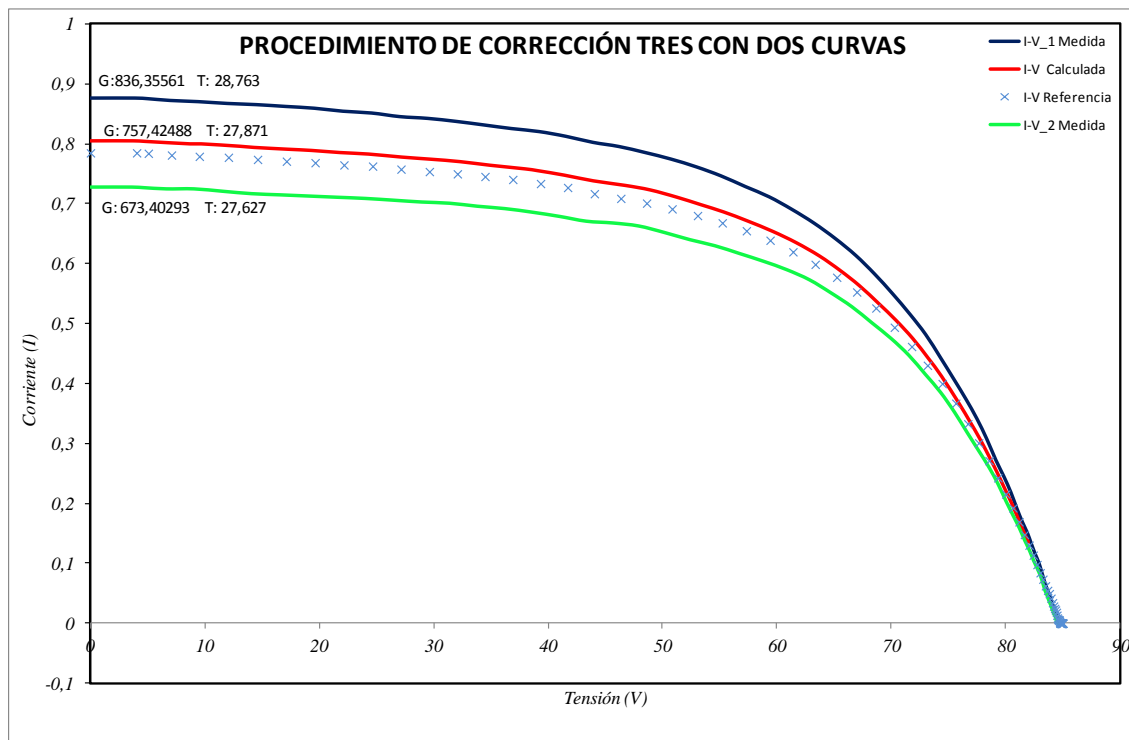


Figura 19.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 19 se han acercado los valores extremos para ver si la curva I-V calculada coincide con la de referencia.

Se puede observar que ambas curvas tienen una pequeña variación, que se puede deber a factores climatológicos, y también se observa que los valores de intensidad y tensión son coherentes por lo que se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

También se observa que los valores de I_{sc} y V_{oc} varían proporcionalmente al valor de irradiancia de la curva y que son acordes con los valores de irradiancia y temperatura.

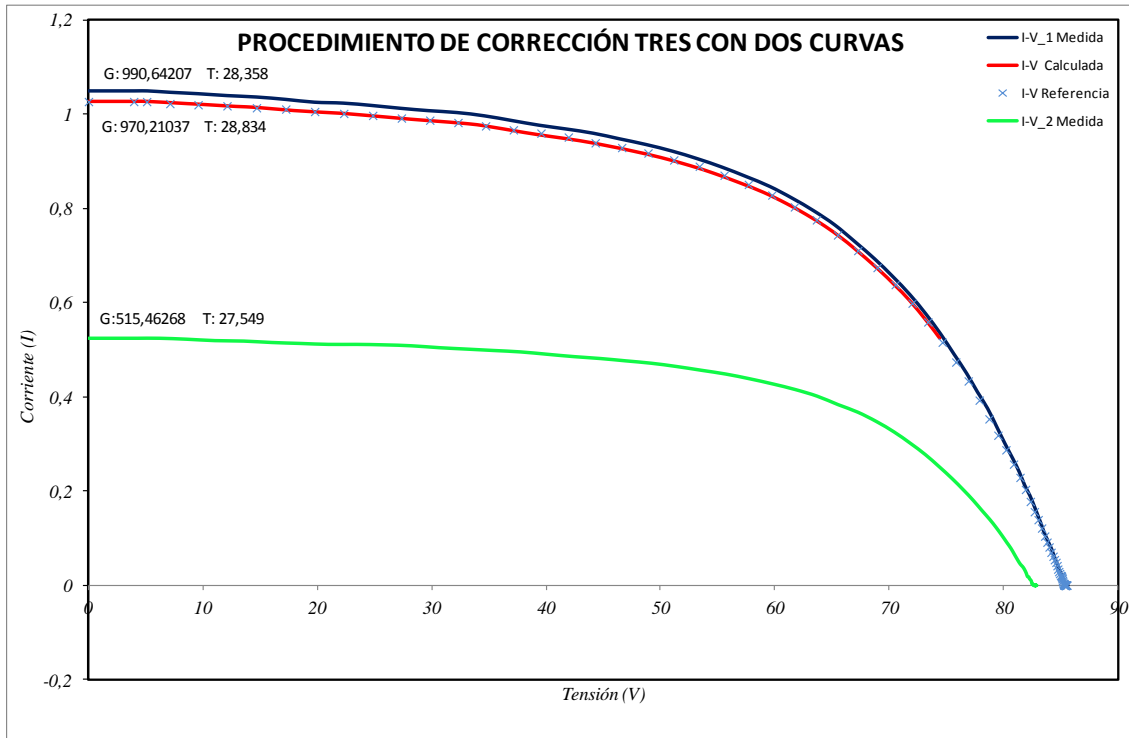


Figura 20.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la figura 20 se puede observar que los valores de tensión e intensidad son coherentes con las variaciones de temperatura y además las gráficas se solapan, por lo que podemos considerar que el procedimiento de corrección funciona, y que la placa tiene un funcionamiento bueno con respecto a sus características.

- *Módulo D*

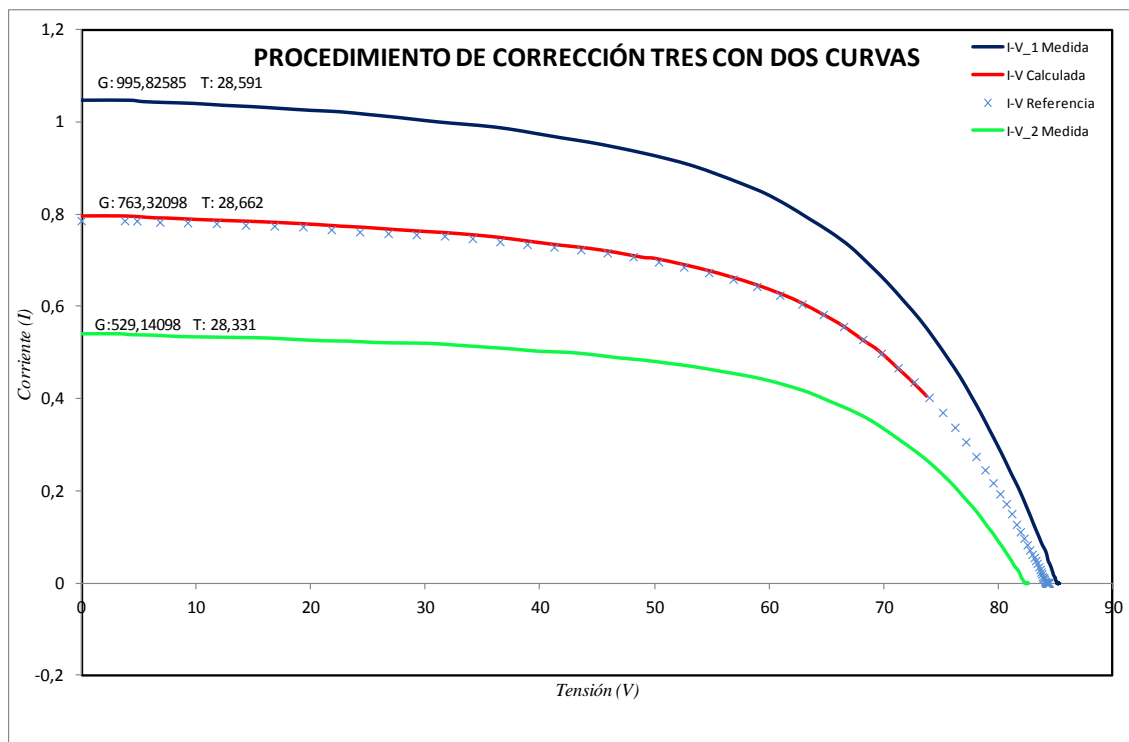


Figura 21.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

Para comprobar el funcionamiento de los módulos mediante el sistema de corrección comentado en el apartado 7, debemos comprobar que la curva experimental T3G3 (La curva IV referencia) y la curva T3G3 corregida (La curva IV calculada) coinciden.

Como en la hoja de características del Anexo I no menciona cuales son los valores nominales de temperatura e irradiancia suponemos que son los mismos que los de las placas anteriores, $T = 25^{\circ}\text{C}$ e $G = 1000 \text{ W/m}^2$.

Según los datos del módulo del Anexo I, sabemos que a una temperatura de 25°C y una irradiancia de 1000 W/m^2 , la $I_{sc} = 1,19 \text{ A}$ y $V_{oc} = 92 \text{ V}$.

En la figura 21 el rango de irradiancias va desde aproximadamente los 500 W/m^2 a los 1000 W/m^2 , y la temperatura esta en torno a los $28,5^{\circ}\text{C}$. Sabemos por los datos de la placa que existe una variación de intensidad y voltaje cte. en función de la temperatura.

El resultado de la figura 20 muestra que las curvas se solapan, y considerando que los valores son acordes a las condiciones climatológicas y que los valores de la tabla están tomados en laboratorio y no a la intemperie, podemos concluir que el procedimiento de corrección funciona.

Para observar si el procedimiento de corrección se cumple a la perfección, se hacen comprobaciones a diferentes valores de irradiancia y temperatura.

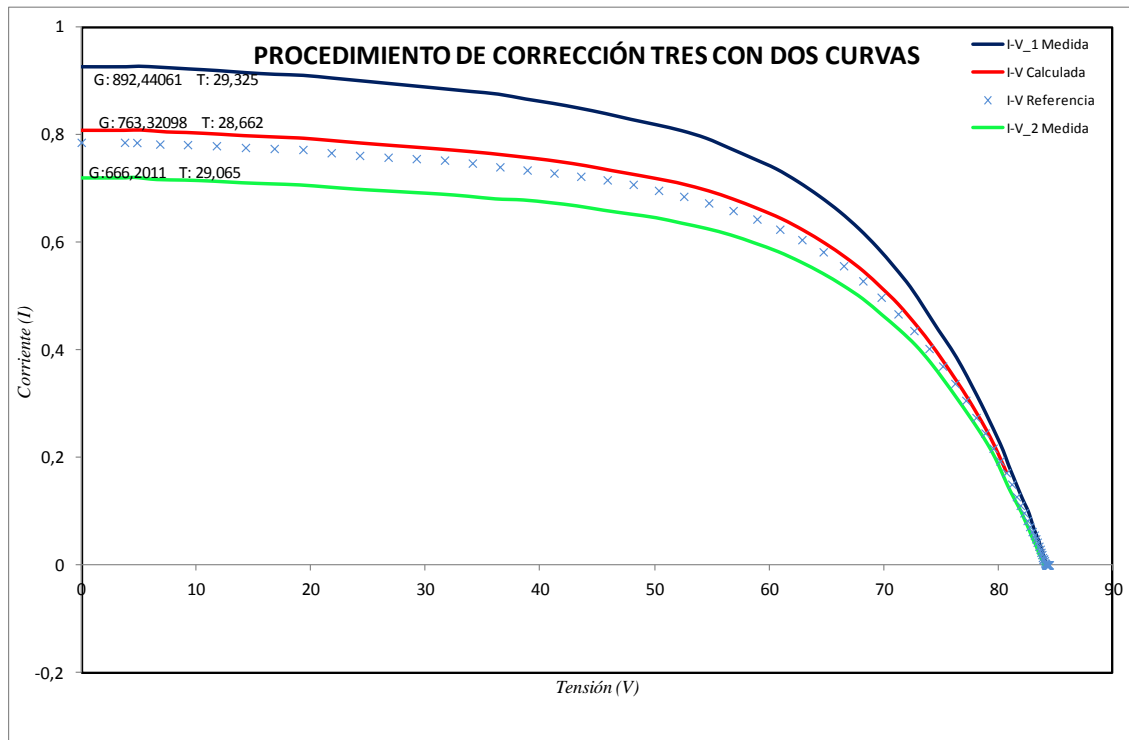


Figura 22.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 22 se han acercado los valores extremos para ver si la curva I-V calculada coincide con la de referencia.

Se puede observar que ambas curvas tienen una pequeña variación, que se puede deber a factores climatológicos, y también se observa que los valores de intensidad y tensión son coherentes por lo que se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

También se observa que los valores de I_{sc} y V_{oc} varían con respecto a los nominales y que son acordes con los valores de irradiancia y temperatura.

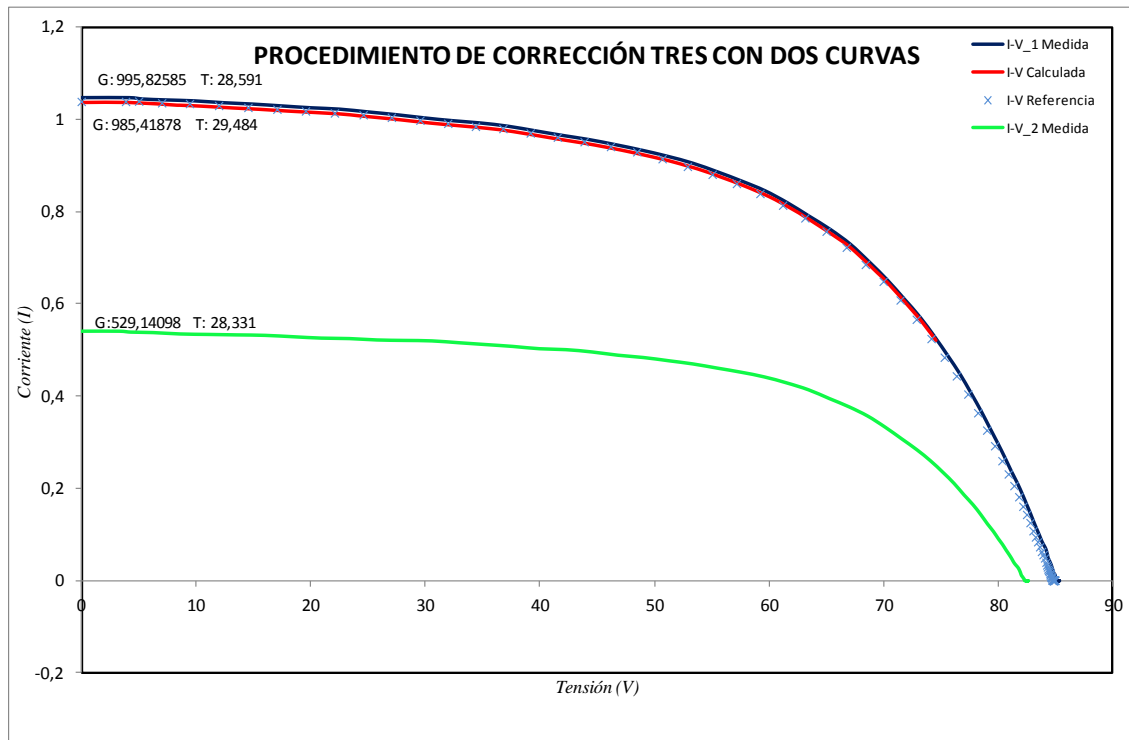


Figura 23.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la figura 23 se puede observar que los valores de tensión e intensidad son coherentes con las variaciones de temperatura y además las gráficas se solapan, por lo que podemos considerar que el procedimiento de corrección funciona, y que la placa tiene un funcionamiento bueno con respecto a sus características.

En estos modelos de módulos (C y D) se observa que los valores de intensidad y tensión varían con respecto a los nominales, lo cual seguramente es debido a que los nominales están tomados en laboratorio y los prácticos en exterior.

Aun con estas variaciones, la forma de las curvas corresponde a un buen funcionamiento del módulo.

9.3 Módulos E y F

- *Módulo E*

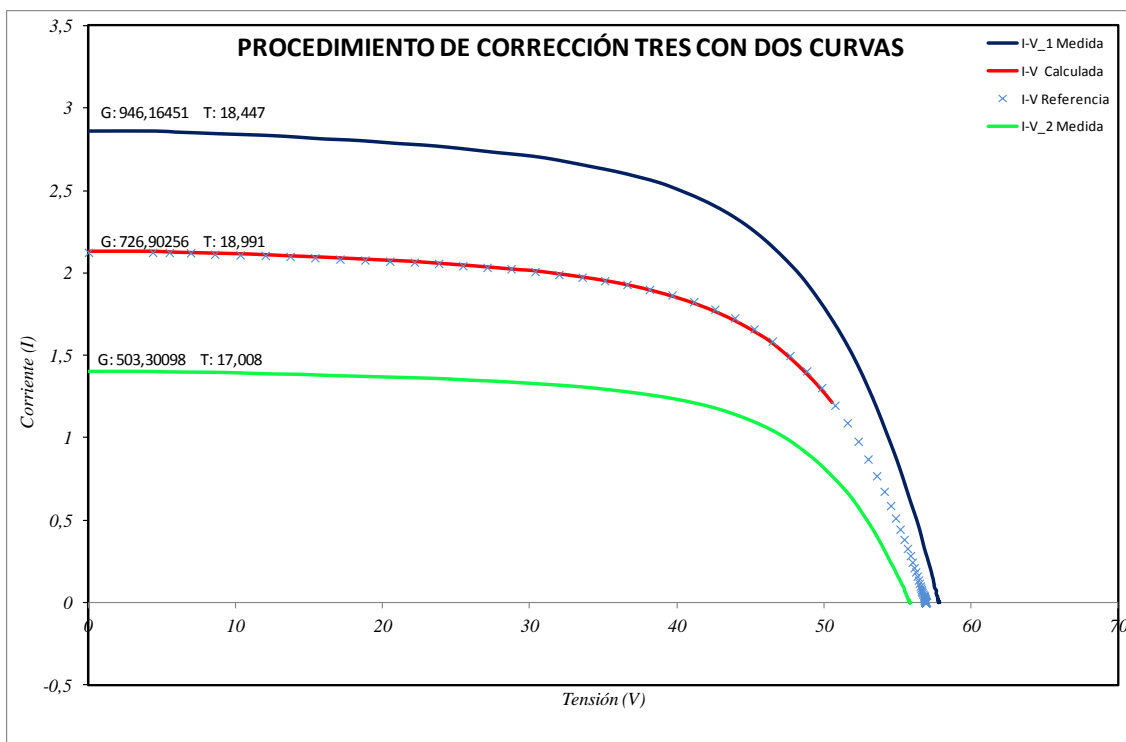


Figura 24.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

Para comprobar el funcionamiento de los módulos mediante el sistema de corrección comentado en el apartado 7, debemos comprobar que la curva experimental T3G3 (La curva IV referencia) y la curva T3G3 corregida (La curva IV calculada) coinciden.

Como en la hoja de características del Anexo I no menciona cuales son los valores nominales de temperatura e irradiancia suponemos que son los mismos que los de las placas anteriores, $T = 25^{\circ}\text{C}$ e $G = 1000 \text{ W/m}^2$.

Según los datos del módulo del Anexo I, vienen varios valores, supondremos que el valor medio a una temperatura de 25°C y una irradiancia de 1000 W/m^2 , la $I_{sc} = 3,34 \text{ A}$ y $V_{oc} = 59,2 \text{ V}$.

En la figura 24 el rango de irradiancias va desde aproximadamente los 500 W/m^2 a los 1000 W/m^2 , y la temperatura esta en torno a los 18°C . Sabemos por los datos de la placa que existe una variación de intensidad y voltaje cte. en función de la temperatura.

El resultado de la figura 23 muestra que las curvas se solapan, y considerando las variaciones en torno a la temperatura, podemos concluir que el procedimiento de corrección funciona.

Para observar si el procedimiento de corrección se cumple a la perfección, se hacen comprobaciones a diferentes valores de irradiancia y temperatura.

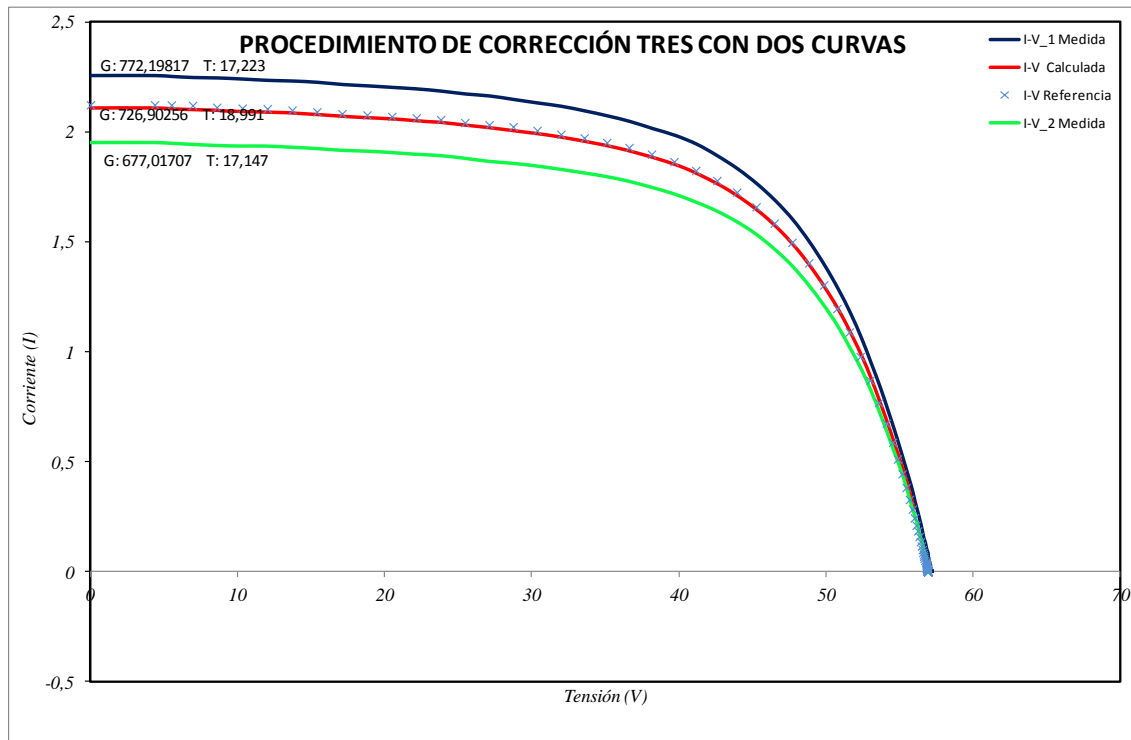


Figura 25.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 25 se han acercado los valores extremos para ver si la curva I-V calculada coincide con la de referencia.

Se puede observar que ambas curvas se solapan, y también se observa que los valores de intensidad y tensión son coherentes por lo que se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

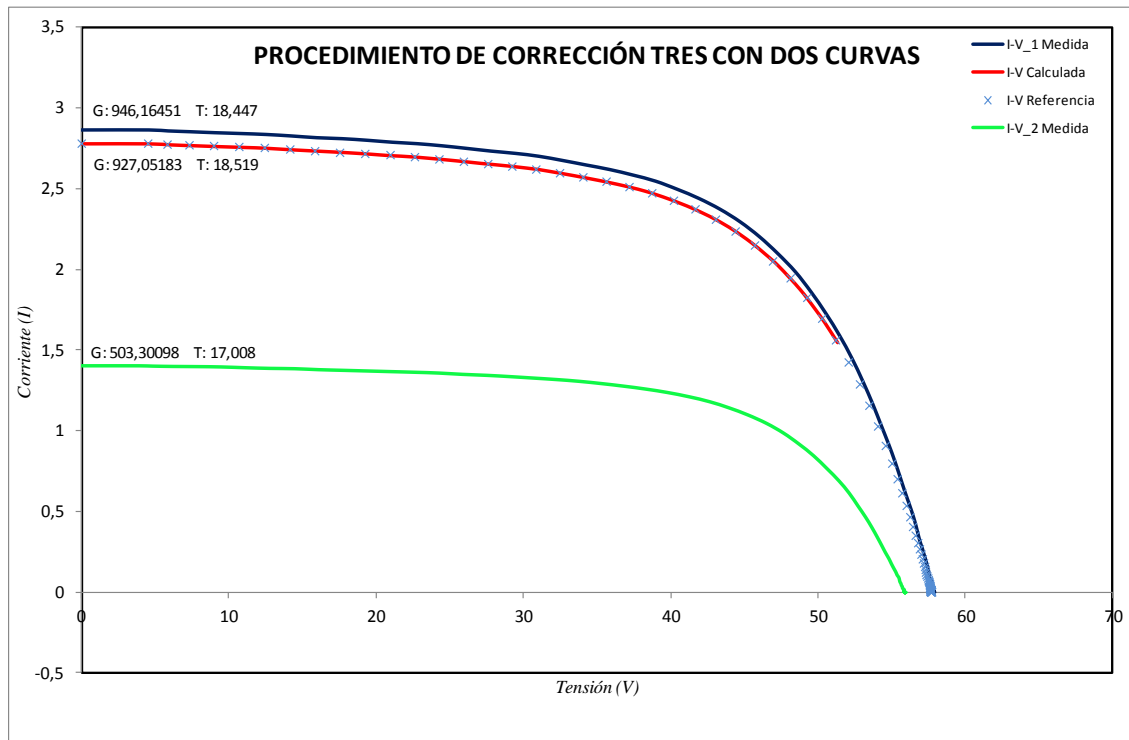


Figura 26.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 26 se puede observar que ambas curvas se solapan, y también se observa que los valores de intensidad y tensión son coherentes por lo que se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

La forma de las gráficas y sus valores nos muestran un buen funcionamiento del módulo.

- *Módulo F*

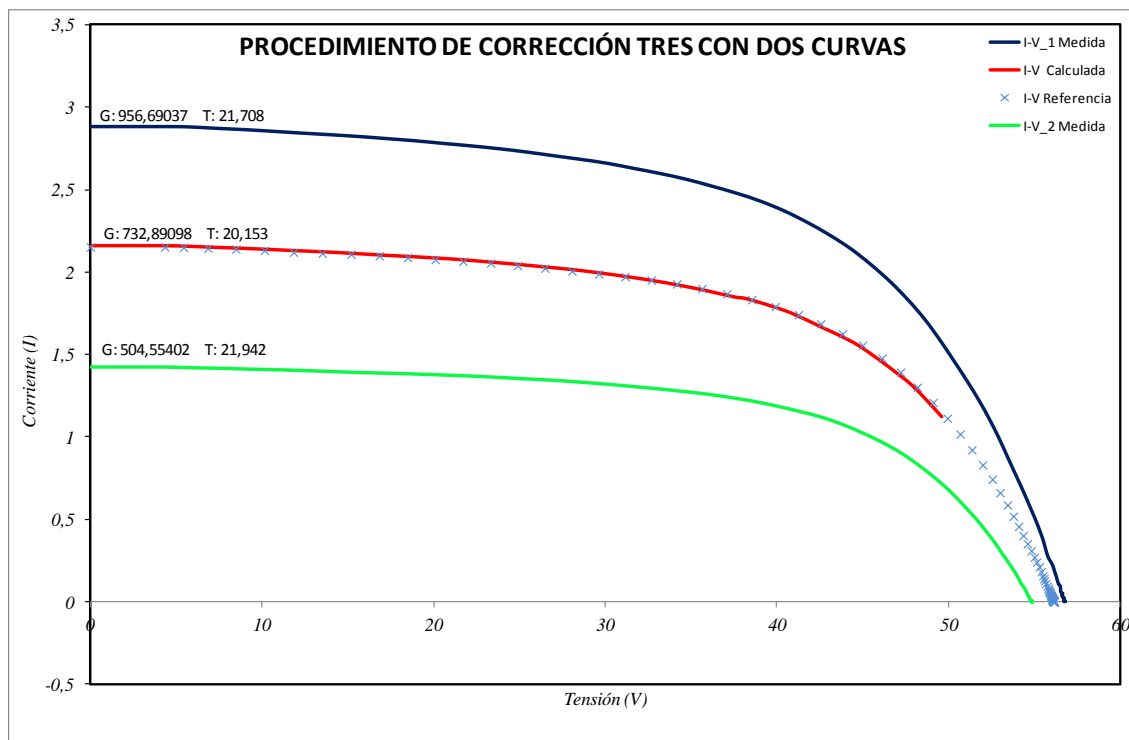


Figura 27.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

Para comprobar el funcionamiento de los módulos mediante el sistema de corrección comentado en el apartado 7, debemos comprobar que la curva experimental T3G3 (La curva IV referencia) y la curva T3G3 corregida (La curva IV calculada) coinciden.

Como en la hoja de características del Anexo I no menciona cuales son los valores nominales de temperatura e irradiancia suponemos que son los mismos que los de las placas anteriores, $T = 25^{\circ}\text{C}$ e $G = 1000 \text{ W/m}^2$.

En los datos del módulo del Anexo I, vienen varios valores, supondremos que el valor medio a una temperatura de 25°C y una irradiancia de 1000 W/m^2 , la $I_{sc} = 3,34 \text{ A}$ y $V_{oc} = 59,2 \text{ V}$.

En la figura 27 el rango de irradiancias va desde aproximadamente los 500 W/m^2 a los 1000 W/m^2 , y la temperatura esta en torno a los 21°C . Sabemos por los datos de la placa que existe una variación de intensidad y voltaje cte. en función de la temperatura.

El resultado de la figura 26 muestra que las curvas se solapan, y considerando las variaciones en torno a la temperatura, podemos concluir que el procedimiento de corrección funciona.

Para observar si el procedimiento de corrección se cumple a la perfección, se hacen comprobaciones a diferentes valores de irradiancia y temperatura.

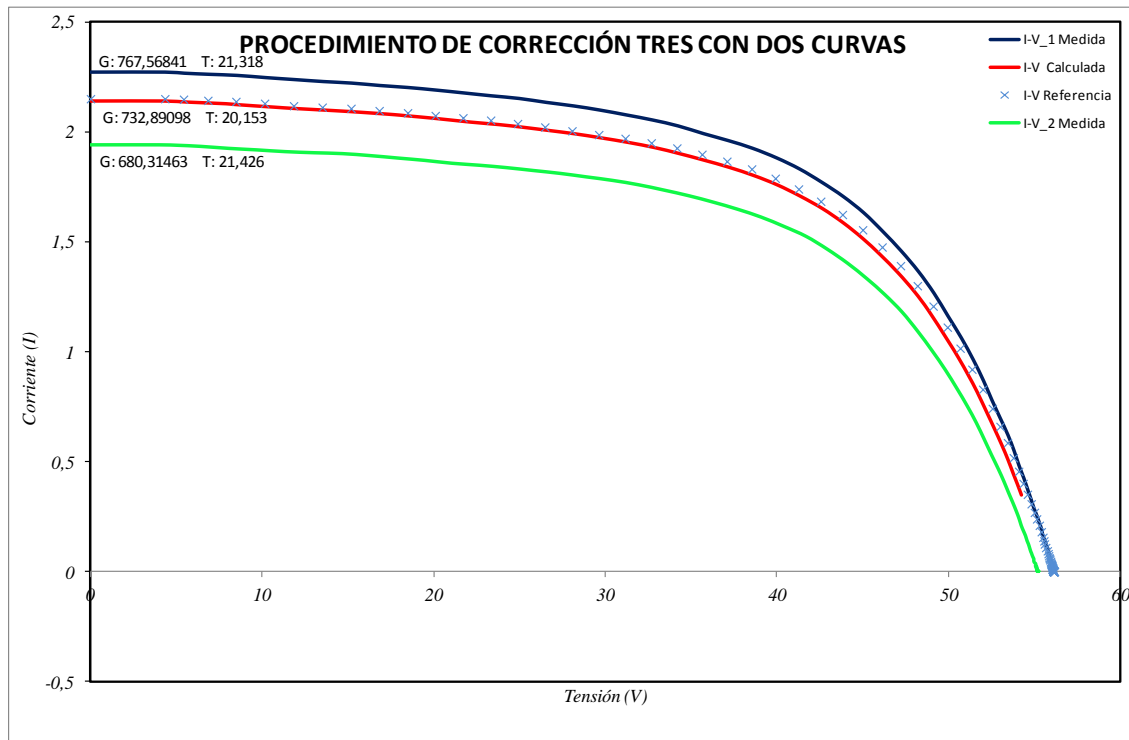


Figura 28.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 28 se han acercado los valores extremos para ver si la curva I-V calculada coincide con la de referencia.

Se puede observar que ambas curvas se solapan y puesto que los valores de intensidad y tensión de las curvas son acordes a la variación por temperatura e irradiancia se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

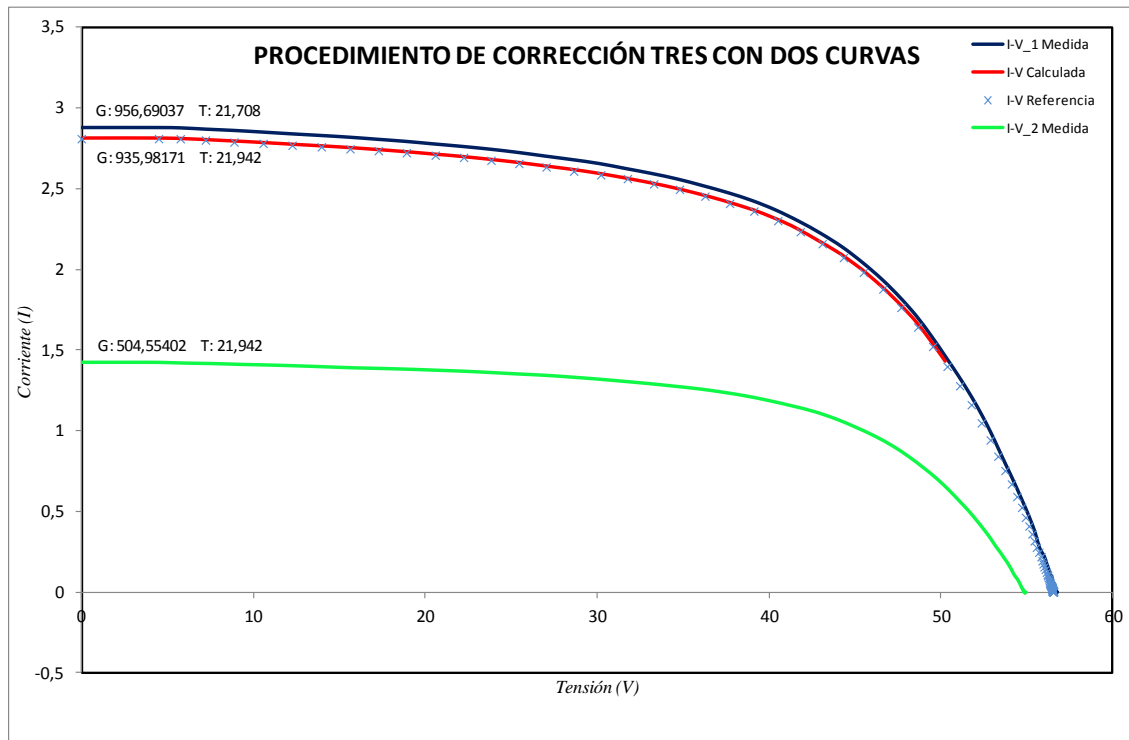


Figura 29.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 29 se puede observar que ambas curvas se solapan, y también se observa que los valores de intensidad y tensión son coherentes por lo que se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

Mediante la forma de las curvas se puede observar un buen funcionamiento del módulo.

9.4 Módulos G y H

- *Módulo G*

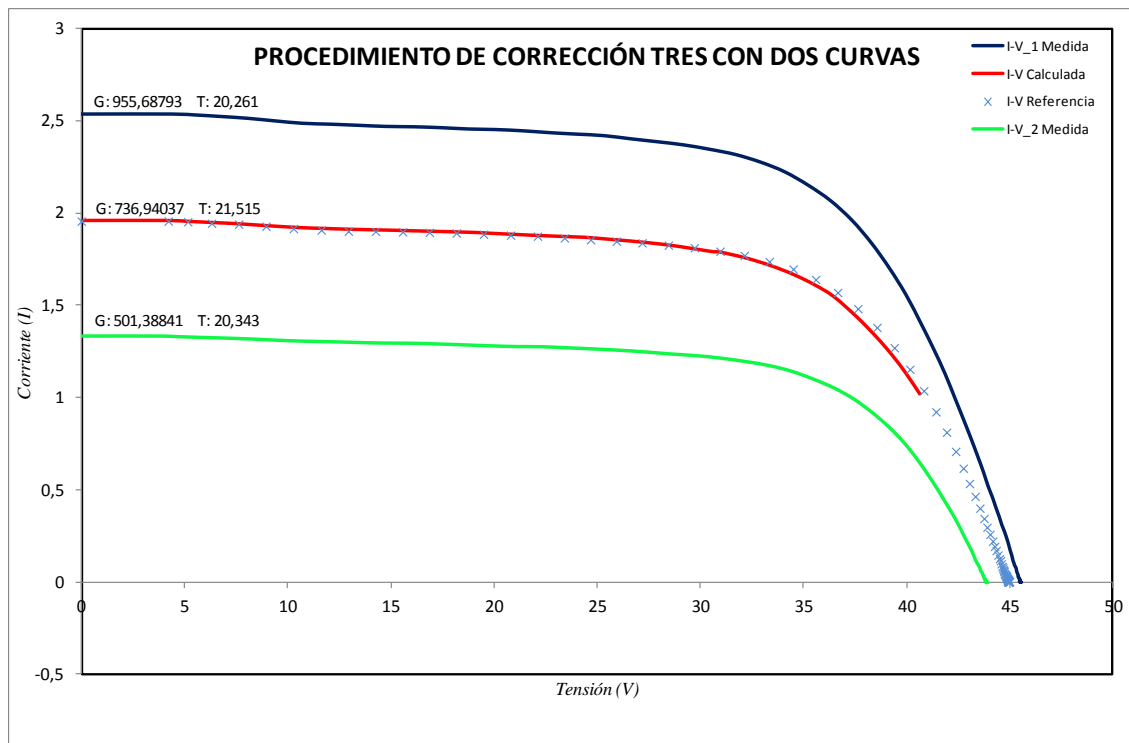


Figura 30.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

Para comprobar el funcionamiento de los módulos mediante el sistema de corrección comentado en el apartado 7, debemos comprobar que la curva experimental T3G3 (La curva IV referencia) y la curva T3G3 corregida (La curva IV calculada) coinciden.

Como en la hoja de características del Anexo I no menciona cuales son los valores nominales de temperatura e irradiancia suponemos que son los mismos que los de las placas anteriores, $T = 25^{\circ}\text{C}$ e $G = 1000 \text{ W/m}^2$.

En los datos del módulo del Anexo I, los valores que vienen a una temperatura de 25°C y una irradiancia de 1000 W/m^2 , la $I_{sc} = 2,68 \text{ A}$ y $V_{oc} = 46,6 \text{ V}$.

En la figura 30 el rango de irradiancias va desde aproximadamente los 500 W/m^2 a los 1000 W/m^2 , y la temperatura esta en torno a los 21°C . En los datos de este módulo no nos dicen que variación se produce en función de la temperatura, por lo que supondremos, sabiendo que siempre existen variaciones, que existe una variación de intensidad y voltaje cte. en función de la temperatura.

El resultado de la figura 29 muestra que las curvas se solapan, y considerando las variaciones en torno a la temperatura, podemos concluir que el procedimiento de corrección funciona.

Para observar si el procedimiento de corrección se cumple a la perfección, se hacen comprobaciones a diferentes valores de irradiancia y temperatura.

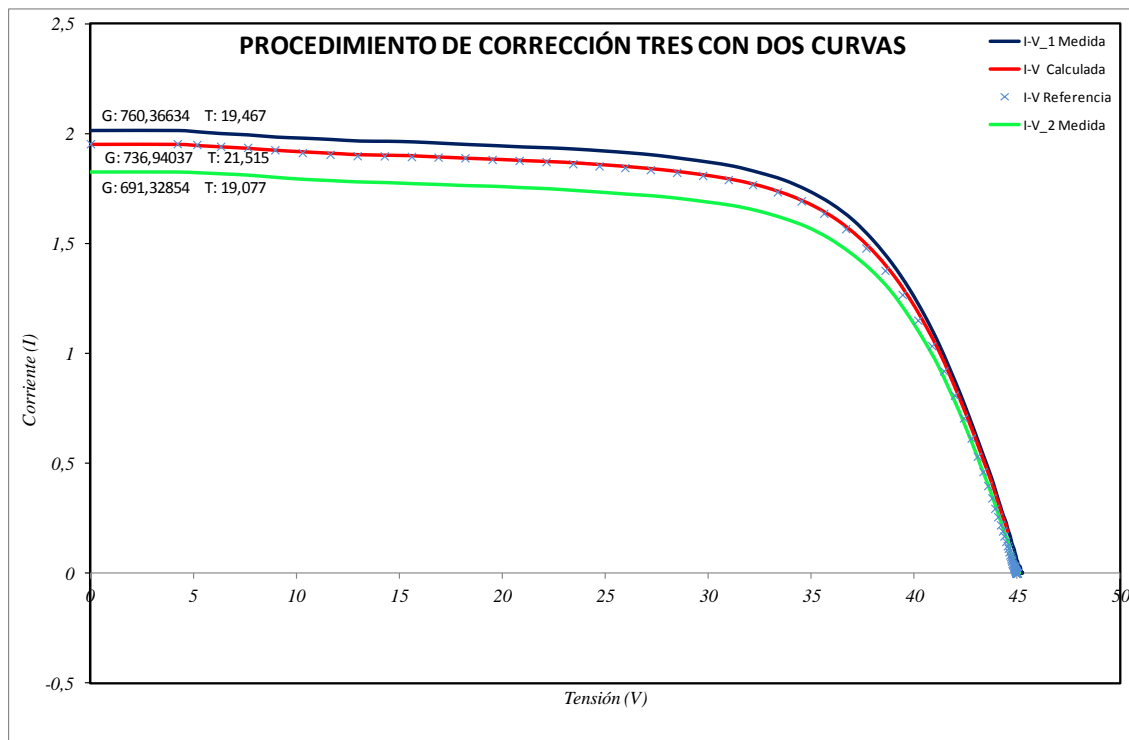


Figura 31.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 31 se han acercado los valores extremos para ver si la curva I-V calculada coincide con la de referencia.

Se puede observar que ambas curvas se solapan y puesto que los valores de intensidad y tensión de las curvas son acordes a la variación por temperatura e irradiancia se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

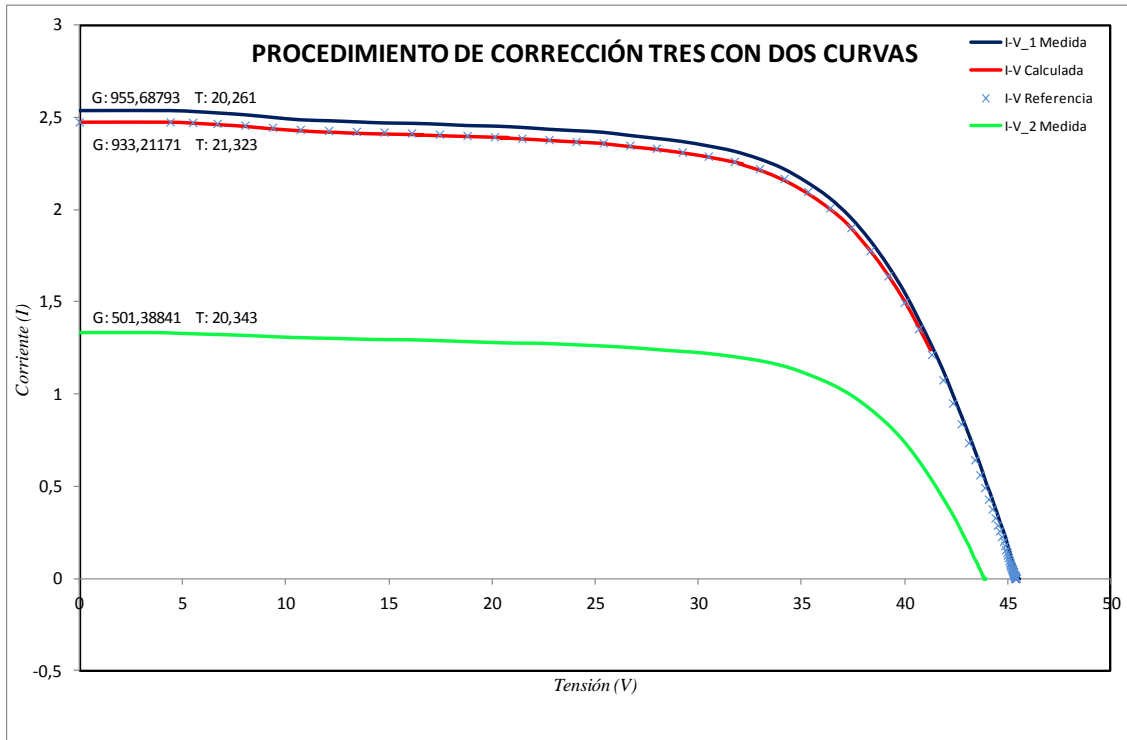


Figura 32.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 32 se puede observar que ambas curvas se solapan, y también se observa que los valores de intensidad y tensión son coherentes por lo que se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

Mediante la forma de las curvas se puede observar un buen funcionamiento del módulo.

También se observa que este módulo tiene la menor variación con respecto a temperatura e irradiancia de todos los vistos hasta ahora.

- *Módulo H*

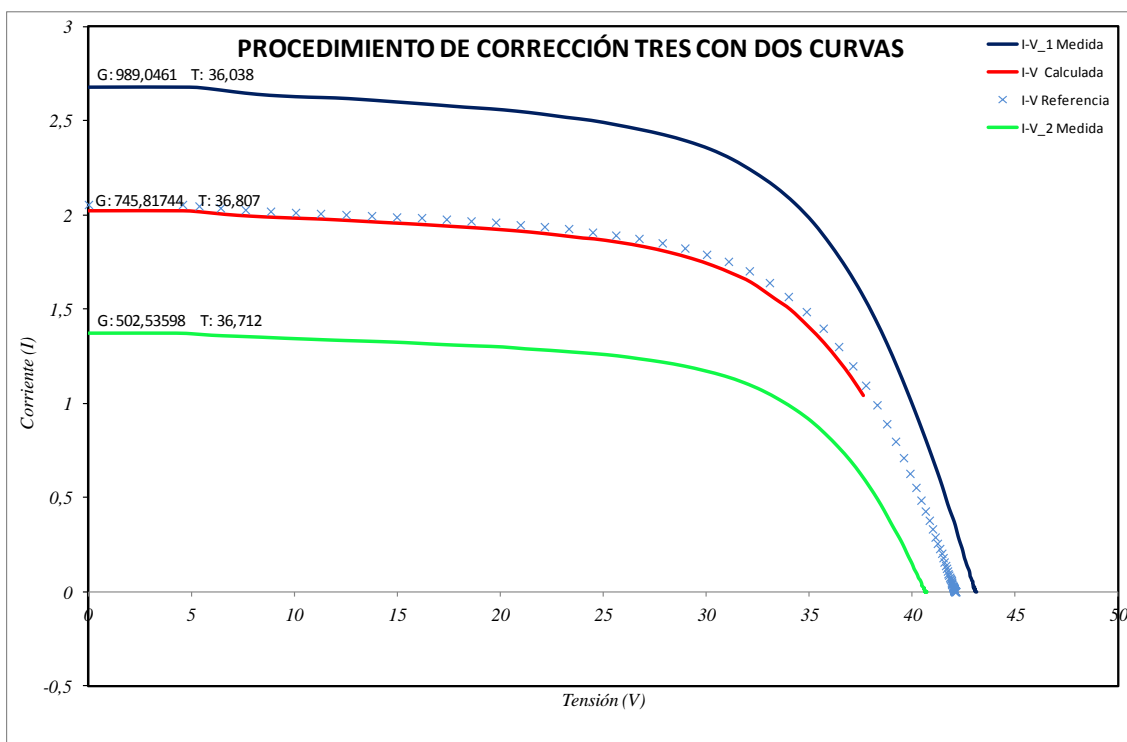


Figura 33.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

Para comprobar el funcionamiento de los módulos mediante el sistema de corrección comentado en el apartado 7, debemos comprobar que la curva experimental T3G3 (La curva IV referencia) y la curva T3G3 corregida (La curva IV calculada) coinciden.

Como en la hoja de características del Anexo I no menciona cuales son los valores nominales de temperatura e irradiancia suponemos que son los mismos que los de las placas anteriores, $T = 25^{\circ}\text{C}$ e $G = 1000 \text{ W/m}^2$.

En los datos del módulo del Anexo I, los valores que vienen a una temperatura de 25°C y una irradiancia de 1000 W/m^2 , la $I_{sc} = 2,68 \text{ A}$ y $V_{oc} = 46,6 \text{ V}$.

En la figura 33 el rango de irradiancias va desde aproximadamente los 500 W/m^2 a los 1000 W/m^2 , y la temperatura esta en torno a los $36,5^{\circ}\text{C}$. En los datos de este módulo no nos dicen que variación se produce en función de la temperatura, por lo que supondremos, sabiendo que siempre existen variaciones, que existe una variación de intensidad y voltaje cte. en función de la temperatura.

El resultado de la figura 32 muestra que las curvas prácticamente se solapan, y considerando las variaciones en torno a la temperatura (que según se puede observar la notable variación de temperatura hace que varíe algo la tensión), podemos concluir que el procedimiento de corrección funciona.

Para observar si el procedimiento de corrección se cumple a la perfección, se hacen comprobaciones a diferentes valores de irradiancia y temperatura.

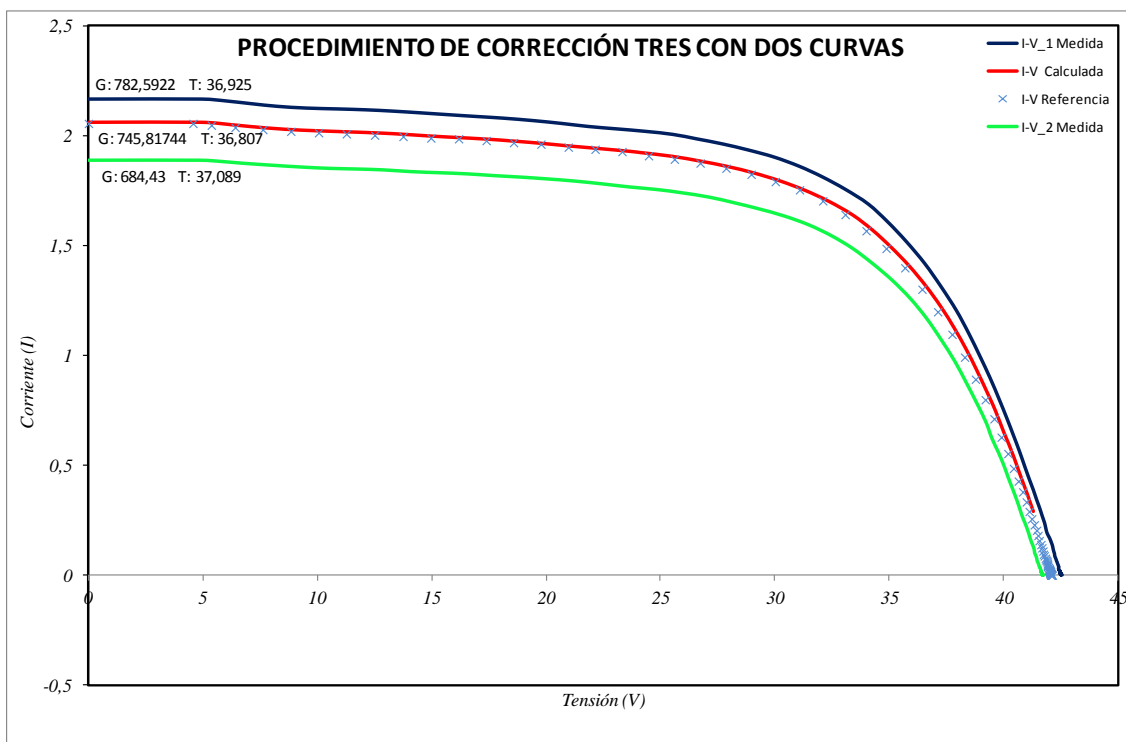


Figura 34.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 34 se han acercado los valores extremos para ver si la curva I-V calculada coincide con la de referencia.

Se puede observar que ambas curvas se solapan y puesto que los valores de intensidad y tensión de las curvas son acordes a la variación por temperatura e irradiancia se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

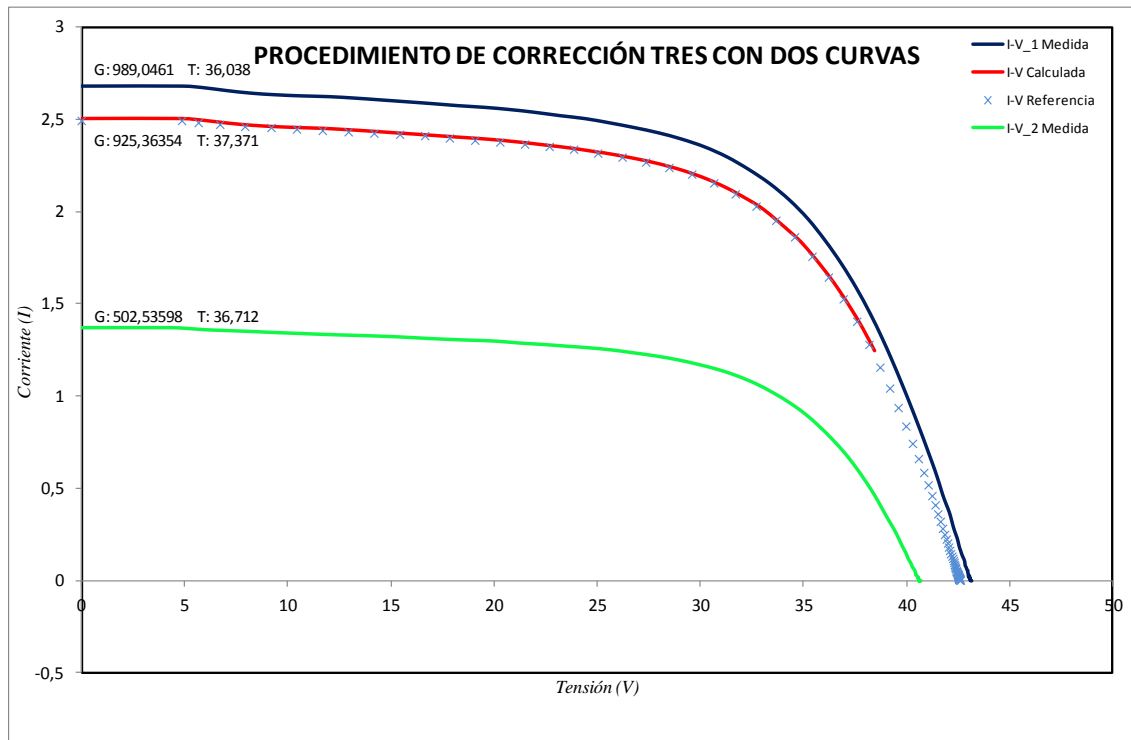


Figura 35.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 35 se puede observar que ambas curvas se solapan, y también se observa que los valores de intensidad y tensión son coherentes por lo que se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

Mediante la forma de las curvas se puede observar el buen funcionamiento del módulo

9.5 Módulos I y J

- *Módulo I*

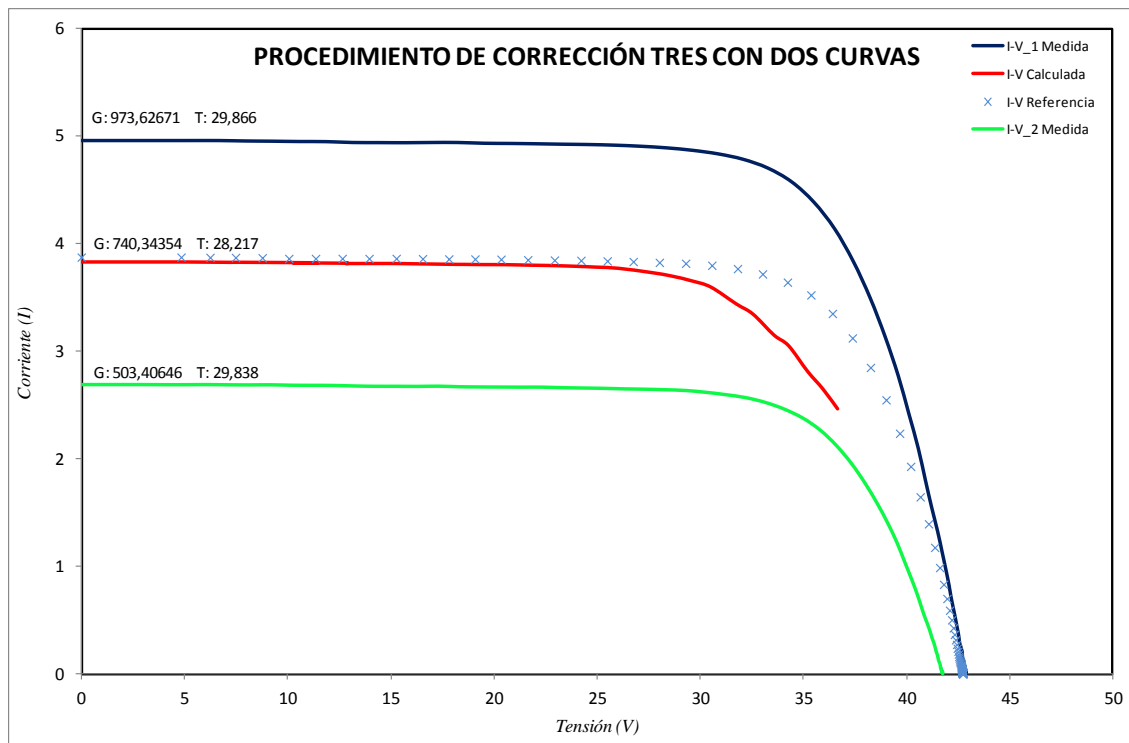


Figura 36.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

Para comprobar el funcionamiento de los módulos mediante el sistema de corrección comentado en el apartado 7, debemos comprobar que la curva experimental T3G3 (La curva IV referencia) y la curva T3G3 corregida (La curva IV calculada) coinciden.

Según los datos del módulo del Anexo I, sabemos que a una temperatura de 25°C y una irradiancia de 1000 W/m², la $I_{sc} = 5,35$ A y $V_{oc} = 44,2$ V.

Debido a que los resultados están a una temperatura de unos 29°C y unas irradiancias entre los 500 W/m² y los 1000 W/m² los valores de V_{oc} e I_{sc} son más bajos que los nominales.

El resultado de la figura 36 muestra que la curva corregida sufre una desviación que no corresponde con lo esperado.

Con esta grafica no podemos confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

Para observar si el procedimiento de corrección se cumple a la perfección, se hacen comprobaciones a diferentes valores de irradiancia y temperatura.

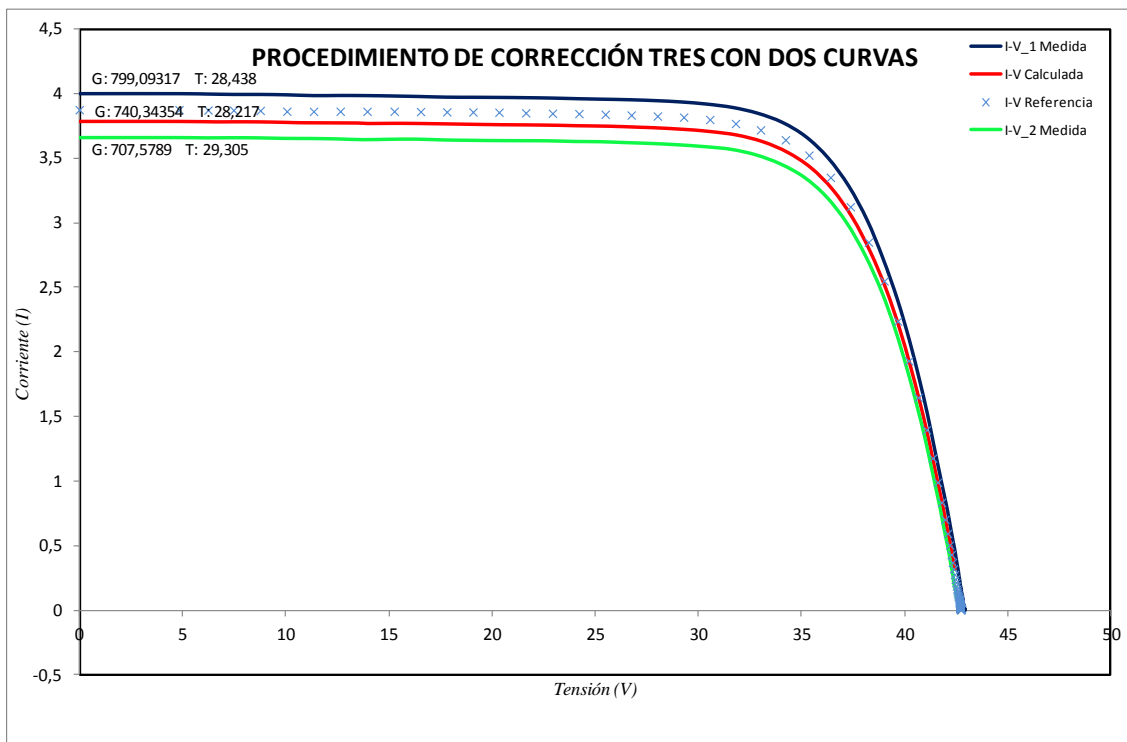


Figura 37.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la figura 37, observamos que las curvas si se corresponden con un funcionamiento bueno de la placa, por lo que puede ser que la medida anterior fuese un fallo puntual.

Se observa que los valores de tensión e intensidad varían correspondientemente a los valores de irradiancia y temperatura. También observamos que las curvas comparadas no tienen una pequeña separación.

En este caso si se puede considerar que el funcionamiento del modulo es correcto y que el procedimiento de corrección si funciona.

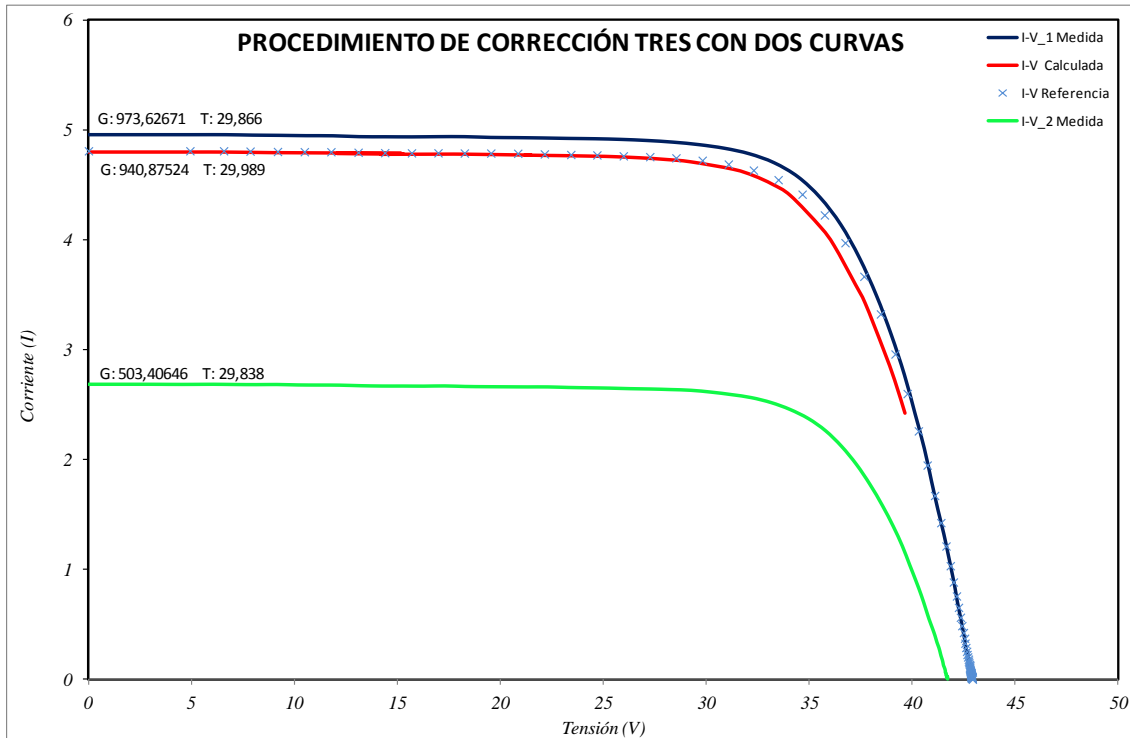


Figura 38.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 38 se puede observar que ambas curvas se solapan, y también se observa que los valores de intensidad y tensión son coherentes por lo que se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

Mediante la forma de las curvas se puede observar el buen funcionamiento del módulo

- *Módulo J*

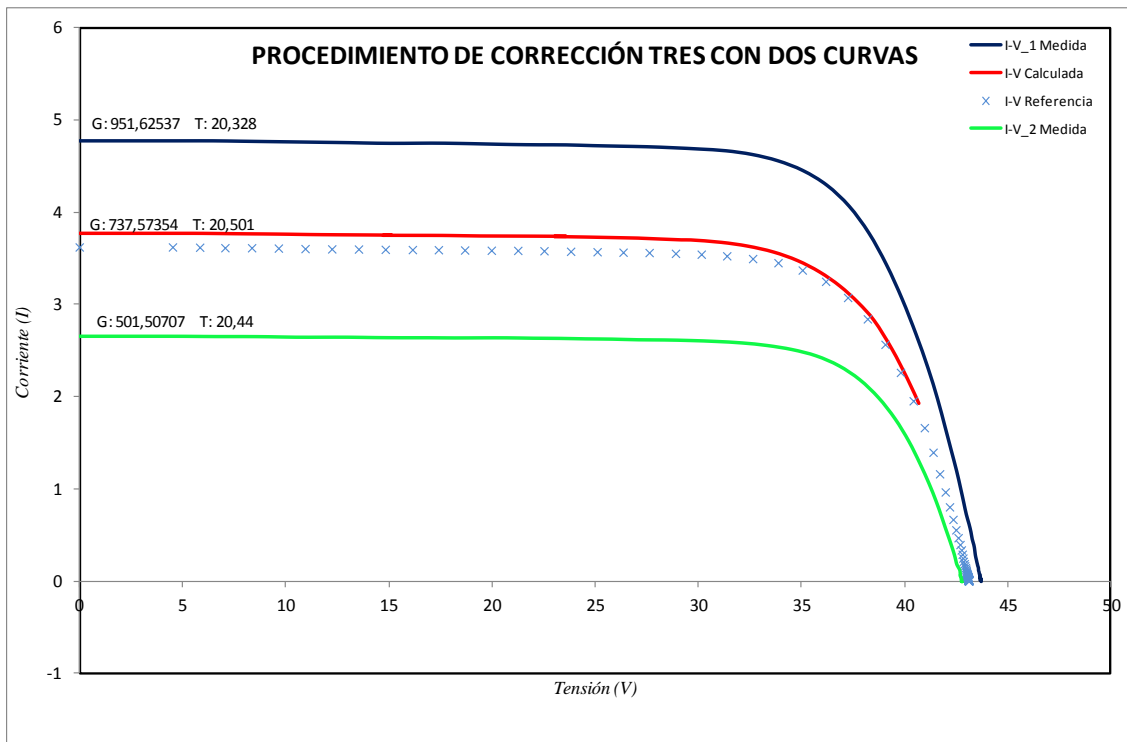


Figura 39.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

Para comprobar el funcionamiento de los módulos mediante el sistema de corrección comentado en el apartado 7, debemos comprobar que la curva experimental T3G3 (La curva IV referencia) y la curva T3G3 corregida (La curva IV calculada) coinciden.

Según los datos del módulo del Anexo I, sabemos que a una temperatura de 25°C y una irradiancia de 1000 W/m², la $I_{sc} = 5,35$ A y $V_{oc} = 44,2$ V.

En la figura 39 el rango de irradiancias va desde aproximadamente los 500W/m² a los 1000W/m², y la temperatura esta en torno a los 20,5°C.

El resultado de la figura 32 muestra que las curvas tienen una pequeña desviación, y considerando las variaciones en torno a la temperatura e irradiancia, podemos concluir que el procedimiento de corrección funciona y que los valores de intensidad y tensión son coherentes

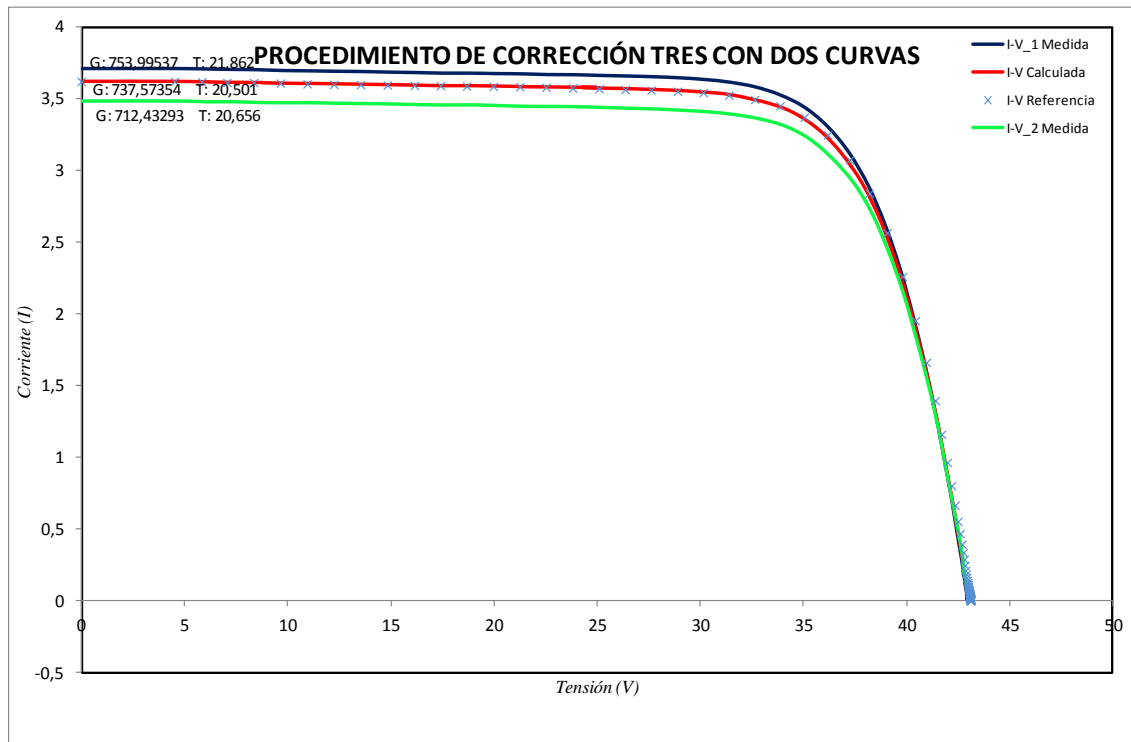


Figura 40.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 40 se han acercado los valores extremos para ver si la curva I-V calculada coincide con la de referencia.

Se puede observar que ambas curvas se solapan y puesto que los valores de intensidad y tensión de las curvas son acordes a la variación por temperatura e irradiancia se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

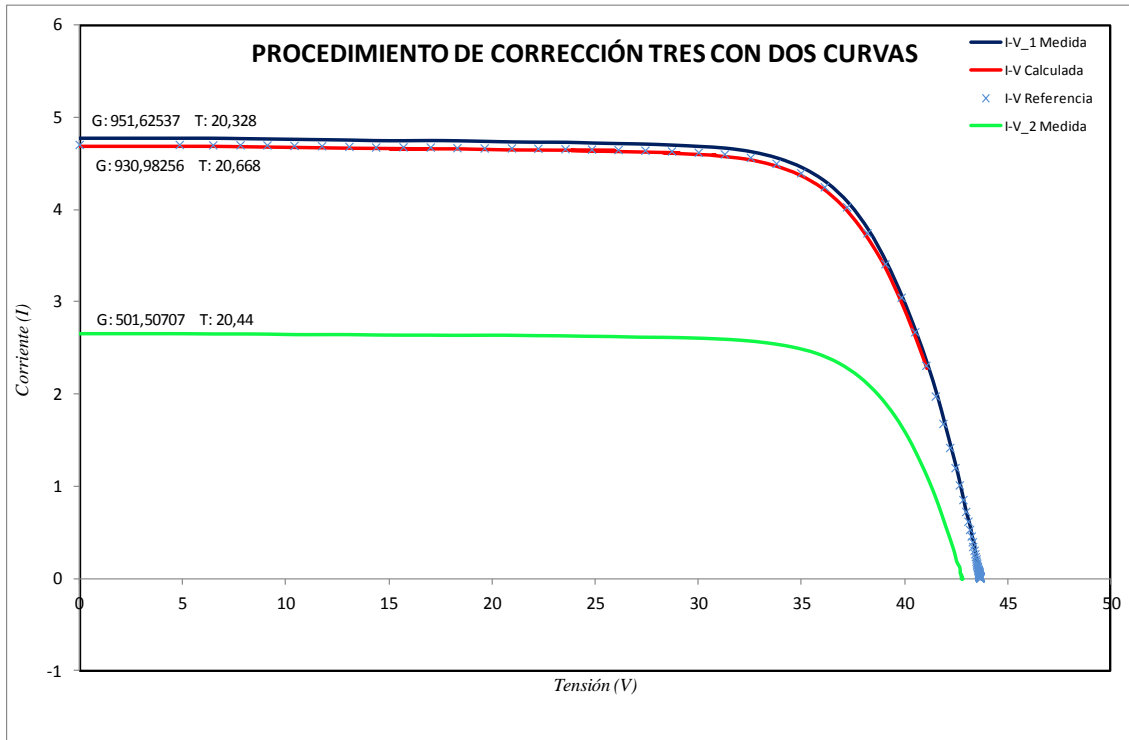


Figura 41.- Curva característica a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura constante, y la curva calculada mediante el procedimiento de corrección 3.

En la gráfica de la figura 41 se puede observar que ambas curvas se solapan, y también se observa que los valores de intensidad y tensión son coherentes por lo que se puede confirmar que el procedimiento de corrección funciona.

Mediante la forma de las curvas se puede observar el buen funcionamiento del módulo

10 Conclusión

En vista de los resultados obtenidos en los ensayos realizados de los diferentes tipos de módulos representados en el punto 9, podemos asegurar que el procedimiento de corrección numero 3 (Interpolación lineal o extrapolación de dos medidas características IV) aplicado, constata que tanto para la corrección en irradiancia como para la corrección por temperatura, obtenemos unos resultados que prácticamente coinciden con la curva real de referencia.

Según los resultados, los módulos de mayor rendimiento son los módulos I y J de silicio monocristalino, puesto que son los que dan la mayor potencia de todos los ensayados. Debido a que ninguno de los módulos ensayados están medidos en las condiciones estándar ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W/m}^2$, $\text{AM}=1,5$) de las características suministradas por los fabricantes, mediante el procedimiento de corrección podemos comprobar que las medidas obtenidas son correctas puesto que la curva de referencia y la curva de corrección coinciden.

11 BIBLIOGRAFIA

Méndez Muñiz, Javier María; Cuervo García, Rafael *"Energía Solar Térmica"*. Fundación Confemetal. Bureau Veritas Formación (2010). «1» (en castellano).

E. Lorenzo. *"Electricidad Solar"*. Ediciones ProgenSA, 1994.

Mario Ortega Rodríguez. *"Energías Renovables"*. Ediciones Paraninfo, 2000.

Informes ASIF. *"PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES 2011-2020"*.

Israel Blanco Sardinero. *"Instalación solar fotovoltaica conectada a red sobre la azotea de una nave industrial"*.

Julio Fernández Ferichola. *"Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil"*.

Norma UNE_ENE_60891

ANEXO I: ESPECIFICACIONES

Módulos A y B

■ ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

MODELOS Y SUS DATOS TÉCNICOS A STC ¹

Valores nominales		FS-270	FS-272	FS-275	FS-277	FS-280
Potencia nominal (+/-5%)	P _{mpp} (W)	70	72,5	75	77,5	80
Tensión a P _{max}	V _{mpp} (V)	67,1	67,9	69,4	70,9	71,3
Corriente a P _{max}	I _{mpp} (A)	1,04	1,07	1,08	1,09	1,12
Tensión en circuito abierto	V _{oc} (V)	89	90	92	93	94
Corriente de corto circuito	I _{sc} (A)	1,19	1,19	1,20	1,21	1,23
Tensión máxima del sistema	V _{sys} (V)	1000				
Coefficiente de temperatura de P _{mpp}	T _k (P _{mpp})	-0,25%/°C				
Coefficiente de temperatura de V _{oc}	T _k (V _{oc})	-0,25%/°C				
Coefficiente de temperatura de I _{sc}	T _k (I _{sc})	+0,04%/°C				
Límite de corriente inversa ²	IR (A)	2				
Fusible max. del circuito de fuente	I _{cf} (A)	10				

MODELOS Y SUS DATOS TÉCNICOS A 800W/m², 45° C, AM 1,5 ⁺

Valores nominales		FS-270	FS-272	FS-275	FS-277	FS-280
Potencia nominal (+/-5%)	P _{mpp} (W)	52,5	54,4	56,3	57,8	60,0
Tensión a P _{max}	V _{mpp} (V)	63	64	66	66	67
Corriente a P _{max}	I _{mpp} (A)	0,83	0,85	0,85	0,87	0,90
Tensión en circuito abierto	V _{oc} (V)	85	85	86	87	87
Corriente de corto circuito	I _{sc} (A)	0,98	0,98	0,97	1,00	1,01



Módulo fotovoltaico de la Serie FS 2

■ ESPECIFICACIONES MECÁNICAS

Longitud	1200 mm	Espesor	6,8 mm
Anchura	600 mm	Superficie	0,72 m ²
Peso	12kg	Cable/conexión	3,2 mm ² , 610mm
Conectores	Conector Solarline 1		
Diodo de bypass	Ninguno		
Tipo de células	Semiconductor de CdS/CdTe, 116 células activas		
Material del marco	Ninguno		
Tipo de cubierta	Cubierta de vidrio pretensionado térmicamente de 3,2mm laminado a vidrio templado de 3,2mm		
Encapsulante	EVA (Etileno Acetato de Vinilo) con bordes sellados		

Eficiencia a 200W/m²: Los módulos de la Serie FS 2 experimentan un aumento en eficiencia del 2% a 200W/m² en comparación con la eficiencia a 1000W/m². Para un análisis detallado del rendimiento a baja irradiación consulte la Nota de Aplicación PD-5-420.

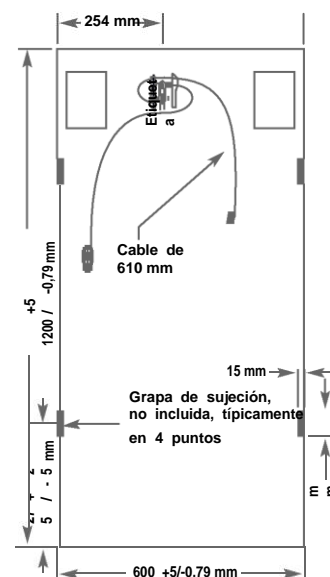
· Todos los valores nominales +/-10%, a menos que se especifique lo contrario. Las especificaciones están sujetas a cambios.

¹ Condiciones de Medición Estandar (STC): 1000W/m², AM 1,5, 25° C

² El procedimiento especificado en EN50380, Sección 3.6.2, está concebido para módulos de silicio cristalino. Dada la configuración de las células de módulos de capa fina se necesitan niveles de tensión y potencia extremos para inducir las corrientes inversas en los módulos, lo que resultaría en temperaturas muy superiores a las del funcionamiento normal o las previstas para los ensayos. Por eso, el valor IR de los módulos es menor que el del fusible de protección requerido para un funcionamiento seguro de los módulos.

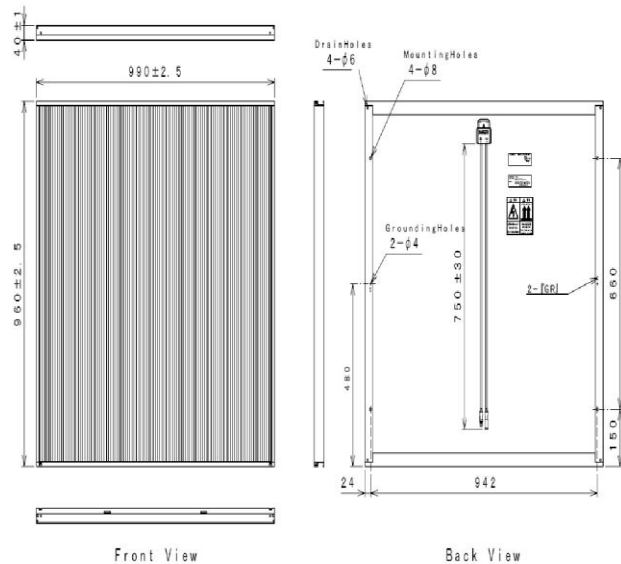


DIBUJO MECÁNICO



Módulos C y D

Potencia Nominal(W)	60W
Tolerancia(%)	+10/-5%
Eficiencia del Módulo (no la célula)(%)	6.3%
Tipo de Célula	a-Si
Células por Módulo	108
Forma de la Célula	Película rayada integrada en el Cristal
Voltaje MPP(V)	67V
Corriente MPP(A)	0.90A
Voltaje Circuito Abierto (V)	92V
Corriente de Cortocircuito (A)	1.19A
Voltaje oc a -10 °C(V)	102V
Voltaje MPP a +70 °C(V)	1.23A
Coef. de Voltaje por °C (%)	-0.305%/° C
Coef. de Corriente por °C (%)	0.0752%/° C
Coef. de Potencia por °C (%)	-0.23%/° C
Voltaje Max. Del Sistema(V)	530V
Altura(mm)	960mm
Anchura(mm)	990mm
Grosor(sin caja)(mm)	40mm
Marco	Aluminio
Tipo de Conexión	Conector MC
Peso(kg)	13.7kg



Ventajas

- Potencia Garantizada
- Montaje sencillo y rápido por su tamaño óptimo
- Alta eficiencia de 7% para un módulo amorfo.
- Diodos by-pass integrados
- Mejor comportamiento con el calor y mayor vida útil
- Con cables y sistema de conexión rápida IP65

Garantías

- 5 años de garantía al producto
- 10 años garantizado el 90% de la potencia nominal
- 25 años garantizado el 80% de la potencia nominal

Certificados - TÜV

- IEC 61646
- Safety Class II
- CE Mark

**Instrucciones de uso y de montaje
para el módulo FV**

PHX 1xx-LV

Indicaciones para personal especializado

Marzo de 2010

PHX 1xx-LV



Especificaciones

Tipo de módulo	Enmarcado			
Tipo de célula	Célula dual de silicio amorfo (a-Si) y silicio microcristalino (μ c-Si)			
Potencia (estable) [P]	P_{mpp}	115	121	128
Tolerancia de potencia	%	+10/-5		
Tensión en el punto de máx. potencia [V]	U_{mpp}	44,5	45,0	45,4
Corriente en el punto de máx. potencia [P]	I_{mpp}	2,59	2,69	2,82
Tensión en circuito abierto [V]	U_{oc}	58,6	59,2	59,8
Corriente de cortocircuito [A]	I_{sc}	3,26	3,34	3,45
Tensión máx. del sistema [V]	U_{max}	1.000		
Sobrecorriente	I_{rev}	5		
máxima Superficie	m^2	1,42		
Dimensiones (L x A)	mm	1.409x1.009		
Profundidad	mm	46		
Profundidad total incluida la caja	mm	46		
Peso	kg	19		
Potencia máxima	$T_k(P_{mpp})$	-0,24 %/°K		
Tensión en circuito abierto	$T_k(U_{oc})$	-0,30 %/°K		

Enchufe de conexión:

Multicontacto:

PV- KBT3 II (MC3), conector hembra

PV- KST3 II (MC3), conector macho

Cable: 2,5 mm², 900 mm

Corriente de cortocircuito $T_k(I_{sc})$ 0,07 %/°K

Garantía sobre la potencia* 10 años al 90% de su potencia mínima

Garantía sobre la potencia* 25 años al 80% de su potencia mínima

Garantía de producto* 2 años

* Rigen las condiciones de garantía del fabricante

CERTIFICACIONES

IEC 61646, IEC 61730 ,clase A

Módulos G y H

Electrical Characteristics	
STC Power Rating P_{mp} (W)	80
Open Circuit Voltage V_{oc} (V)	46.6
Short Circuit Current I_{sc} (A)	2.68
Voltage at Maximim Power V_{mp} (V)	33.2
Current at Maximim Power I_{mp} (A)	2.41
Panel Efficiency	9.3%
Fill Factor	64.1%
Power Tolerance	-10.00% ~ 10.00%
Maximum System Voltage V_{max} (V)	1000
Maximum Series Fuse Rating (A)	
Temperature Coefficients	
Temperature Coefficiency of I_{sc}	
Temperature Coefficiency of V_{oc}	
Temperature Coefficiency of P_{mp}	
Mechanical Characteristics	
Cell Type	CIS Family Thin-Film
Cell Size(mm)	
Cells	
Dimensions	1311.0 × 656.0 × 48.0mm (25.8 × 51.6 × 1.9 inch)
Weight	14.0Kg (30.9 lbs)
Junction Box (Safety Rating, Bypass Diodes)	
Positive Cable (Length, Cable Cross-Section)	
Negative Cable (Length, Cable Cross-Section)	
Plug Connector (Type, Safety)	Kabel MC alt
Front Cover (Thickness,Material)	
Backsheet Cover (Color, Thickness, Material)	
Encapsulation Materials	
Frame Material	Aluminium
Operation Conditions	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	
Operating Temperature	
Maximum Load	
Hail Storm Rating	
Fire Safety Rating	
Warranty & Certification	
Certificates	<ul style="list-style-type: none"> CE Europe
Defects & Workmanship Warranty Period	
90% Power Output Warranty Period	
80% Power Output Warranty Period	
Are Warranties Insured By Third Party	

Módulos I y J

Trina Solar TSM-180DA01

Standard Test Conditions (STC): air mass AM 1.5, irradiance 1000W/m², cell temperature 25°C

DC Electrical Characteristics

• STC Power Rating	180W
• PTC Power Rating	163.1W ¹
• STC Power per unit of area	140.7W/m ² (13.1W/ft ²)
• Peak Efficiency	14.1%
• Power Tolerances	-3%/+3%
• Number of Cells	72
• Nominal Voltage	24V
• Imp	4.9A
• Vmp	36.8V
• Isc	5.35A
• Voc	44.2V
• NOCT data	not available
• Temp. Coefficient of Power	-0.45%/K
• Temp. Coefficient of Voltage	-0.155V/K
• Series Fuse Rating	9A
• Maximum System Voltage	600V

Mechanical Characteristics

• Type	Monocrystalline Silicon
• Output Terminal Type	Tyco SolarLok Connector
• Frame Color	Clear
• Length	1.581mm (62,2in)
• Width	809mm (31,9in)
• Depth	40mm (1,6in)
• Weight	15,6kg (34,4lb)

Warranty and Certifications

• 80% Power Output Warranty Period	25yrs
• 90% Power Output Warranty Period	data not available
• Workmanship Warranty Period	5yrs

ANEXO II: NORMATIVA

Real Decreto.

El Real Decreto 1565/2010, de 19 de noviembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, (“RD 1565/2010”), responde al crecimiento del número de instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de energías renovables, cogeneración y residuos, y en especial, de las instalaciones fotovoltaicas.

El RD 1565/2010, consta de tres artículos que tienen como objeto, respectivamente, la modificación de :

(i) El Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial (“RD 661/2007”)

(ii) El Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico, aprobado mediante el Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto (“RD 1110/2007”)

(iii) El Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para las instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo para dicha tecnología (“RD 1578/2008”).

Asimismo el RD 1565/2010 incluye cinco disposiciones adicionales, cuatro disposiciones transitorias, una disposición derogatoria y tres disposiciones finales.

La entrada en vigor del Real Decreto 1565/2010 se ha producido al día siguiente de su publicación en el B.O.E., esto es, el 24 de noviembre de 2010.

Las normas IEC-UNE-EN aprobadas

Normas emitidas por la comisión Electrotécnica Internacional, incluyéndose además su nomenclatura y equivalente si han sido aprobadas como norma europea y/o española.

- IEC 904-1: 1987 (EN-60904-1: 1993, UNE-EN-60904-1: 1994). Medida de la característica intensidad-tensión de módulos fotovoltaicos.
- IEC 904-2 1989, Amendment 1: 1998 (EN-60904-2:1993, EN-60904- 2/A1:1998, UNE-EN-60904-2: 1994, UNE-EN-60904-2/A1:1998). Requisito de células solares de referencia.
- ICE904-3:1989 (EN 60904-3:1994). Fundamentos de medida de dispositivos solares fotovoltaicos de uso terrestre con datos de irradiancia espectral de referencia.
- IEC904-5:1993, (EN-60904-5: 1995; UNE-EN-60904-5 1996). Determinación de la temperatura de la célula equivalente (TCE) de dispositivos fotovoltaicos por el método de la tensión de circuito abierto.
- IEC 60904-6:1994/A1: 1998 (EN-60904-6:1994, modificada por EN-60904-6/A1:1998, UNE-EN-6:1997, UNE-EN-60904-6/a1:1998). Requisitos para los módulos solares de referencia.
- IEC 60904-7:1998 (EN-60904-7:1998, UNE-EN-60904-7:1999). Cálculo del error introducido por el desacople espectral en las medidas de un dispositivo fotovoltaico (FV).

- IEC 60904-8:1998 (EN-60904-10:1998, UNE-EN-60904-8: 1999). Medida de la respuesta espectral de un dispositivo fotovoltaico.
- IEC60904-10:1998 (EN-60904-10:1999). Métodos de medida de la linealidad.
- IEC 61173:1992 (EN 61173:1994, UNE-EN 61173:1998): Protección contra las sobretensiones de los sistemas fotovoltaicos (FV) productores de energías.
- IEC 61194:1992 (EN 61194:1995, UNE 61194:1997). Parámetros característicos de los sistemas fotovoltaicos (FV) autónomos.
- IEC 61215:1993 (EN 61215:1995, UNE 61215: 1997). Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicaciones terrestres. Cualificación de diseño y aprobación de tipo.
- IEC 61277:1995 (EN 61277:1998, UNE-EN6277:1998). Sistemas fotovoltaicos (FV) terrestres generadores de potencia. Generalidades y guía.
- IEC 61345:1998 (EN 61345:1998, UNE-EN 61345:1999). Ensayo ultravioleta para módulos fotovoltaicos (FV).
- IEC 61646: 1996 (EN 61646: 1997, UNE-EN 61646:1997) Módulos fotovoltaicos (FV) de lámina delgada para aplicaciones terrestres. Cualificación de diseño y aprobación de tipo.
- IEC 61683:1999 (EN 61683: 2000, UNE-EN 61683:2001). Sistemas fotovoltaicos. Acondicionadores de potencia. Procedimiento para la medida del rendimiento.
- IEC 61701:1995 (EN 61701: 1999, UNE-EN 61701:2000). Ensayo de corrosión por niebla salina para módulos fotovoltaicos (FV).
- IEC 61702:1995 (EN 61702: 1999, UNE-EN 61702: 2000). Evaluación de sistemas de bombeo fotovoltaico (FV) de acoplo directo.
- IEC 61721:1995 (EN 61721:1999, UNE-EN 61721:2000). Susceptibilidad de módulos fotovoltaicos (FV) al daño por impacto accidental (resistencia al ensayo de impacto).
- IEC 61724:1998 (EN 61724:1998, UNE-EN 61724 2000). Monitorización de sistemas fotovoltaicos. Guías para la medida, el intercambio de datos y el análisis.
- IEC 61725:1997 (EN 61725:1997, UNE-EN 61725:1998). Expresión analítica para los perfiles solares diarios.
- IEC 61727:1995 (EN 61727: 1995, UNE-EN 61727:1996). Sistemas fotovoltaicos (FV). Características de la interfaz de conexión a la red eléctrica.
- IEC 61829:1995 (EN 61829:1998, UNE-EN 61829:2000). Campos fotovoltaicos de silicio cristalino. Medidas en el sitio de la características *I-V*.
- IEC 61836: 1997 (es un informe técnico). Sistemas de energía solar fotovoltaica. Términos y símbolos. EN 50380: 2003 (UNE-EN 50380:2003). Informaciones de las hojas de datos y las placas de características para los módulos fotovoltaicos.

- IEC 60364-73712: Instalaciones eléctricas en edificios-parte 7-712: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sistemas de alimentación de energía solar fotovoltaica.

Normas del comité técnico 82 (CT82) de la Comisión Electrotécnica Internacional en Proyecto (marzo 2004)

- IEC 61836-2: Sistemas de energía solar fotovoltaica-Términos y símbolos- Parte 2.
- IEC 61730-1: Cualificación de seguridad del módulo fotovoltaico. Parte 1: Regla constructiva.
- IEC 61730-2: Cualificación de seguridad del módulo fotovoltaico. Parte 2: Regla de ensayo.
- IEC 61853: Ensayos de rendimiento y evaluación energética de módulos fotovoltaicos de uso terrestre.
- IEC 62145: Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino - Especificación de detalles.
- IEC 61215: Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicaciones terrestres. Cualificación del diseño y aprobación de tipo. Versión revisada.
- IEC 61216: Sistemas fotovoltaicos aislados – Cualificación del diseño y aprobación de tipo.
- IEC 62234: Guías de seguridad para sistemas fotovoltaicos montados en edificios conectados a la red eléctrica.
- IEC 62253: Sistemas de bombeo fotovoltaico de acoplo directo. Cualificación del diseño y aprobación de tipo.
- IEC 61727: Baterías secundarias para sistema de energía fotovoltaica- Reglas generales y métodos de ensayo.
- IEC 62078: Programa de certificación y acreditación para componentes de sistemas fotovoltaicos- Guías para un sistema de calidad total.
- IEC 62093: Resto de componentes de sistemas fotovoltaicos – Cualificación de diseño y aprobación de tipo.
- IEC 62109: Seguridad eléctrica de inversores estáticos y controladores de carga de utilización en sistemas fotovoltaicos.
- IEC 62116: Procedimiento de ensayo - Medidas de prevención de aislamiento para acondicionadores de potencia utilizados en sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.
- IEC 62108: Módulo y receptores fotovoltaicos de concentración – Cualificación del diseño y aprobación de tipo.
- IEC 62257-1: Recomendaciones para pequeños sistemas de energía renovables e híbridos para electrificación rural. (Publicada la especificación técnica).

- IEC 62257-2: Recomendaciones para pequeños sistemas de energías renovables e híbridos para electrificación rural – Parte 2: Desde las reglas hasta un abanico de sistemas de electrificación.
- IEC 62257-3: Recomendaciones para pequeños sistemas de energías renovables e híbridos para electrificación rural – Parte 3: Desarrollo y gestión de proyectos.
- IEC 62257-4: Recomendaciones para pequeños sistemas de energías renovables e híbridos para electrificación rural - Parte 4: Selección y diseño de sistemas.
- IEC 62257-5: Recomendaciones para pequeños sistemas de energías renovables e híbridos para electrificación rural - Parte 5: Reglas de seguridad: Protección contra riesgos eléctricos.